

Curso 2009/10
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS/12
I.S.B.N.: 978-84-7756-947-3

CECILIA MARÍA ARMAS HERRERA

**Caracterización físico-química y dinámica
del carbono orgánico en los suelos
de algunos ecosistemas de las Islas Canarias**

Directores

**ANTONIO RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ
CARMEN DOLORES ARBELO RODRÍGUEZ**



SOPORTES AUDIOVISUALES E INFORMÁTICOS
Serie Tesis Doctorales

Este trabajo ha sido realizado con la ayuda de una beca de *postgraduados para la realización de Tesis Doctorales*, concedida por la Dirección General de Universidades e Investigación de la Consejería de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de Canarias; y en el marco del Proyecto de Investigación *Evaluación del potencial de los suelos de Canarias como sumidero de carbono: Su papel en la mitigación del cambio climático y en la lucha contra la desertificación* – PI 2003/143, financiado por la Dirección General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias (2004-2007).

A mis padres

A Juan

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que de un modo u otro han contribuido en la realización de este trabajo. A todas ellas quiero expresarles mi más profundo agradecimiento:

A mis directores de Tesis, los Dres. D. Antonio Rodríguez Rodríguez y D.^a Carmen Dolores Arbelo Rodríguez, por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación.

Al Dr. D. Juan Luis Mora Hernández, por su implicación y dedicación desde el comienzo, por su colaboración en el trabajo de campo y su ayuda con los análisis estadísticos.

A los Dres. D. Francisco Javier González-Vila y D. José Antonio González Pérez del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS), por hacer posible la caracterización química de la materia orgánica, y por su valioso asesoramiento y excelente disposición a la hora de resolver dudas; a la Dra. D.^a Oliva Polvillo Polo, por su valiosa amistad y la extraordinaria ayuda prestada durante y después de mi estancia en Sevilla; a la Dra. D.^a Heike Knicker y a D.^a Trinidad Verdejo por su ayuda con los análisis de RMN y de pirólisis, respectivamente; a Rocío González Vázquez y José María de la Rosa Arranz por su colaboración con algunos análisis de laboratorio; y, en general, a todo el personal del IRNAS que coincidió conmigo durante mi estancia en el centro, por las facilidades prestadas y su amabilidad en todo momento.

Al Dr. D. Juan Sánchez Díaz y a D.^a Lourdes Tellols Chulvi, del Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE) de Valencia, por los análisis de carbono y nitrógeno elemental de algunas muestras de suelo y tejidos vegetales.

A la Dra. D.^a Aixa Rodríguez Bello, del Departamento de Microbiología y Biología Celular de la Universidad de La Laguna, por poner a mi alcance los medios para algunos análisis de actividad biológica.

Al Dr. D. Eduardo China, por proporcionarme información sobre medidas biométricas y de biomasa de tagasaste.

A la Dirección del Parque Nacional de Garajonay, por su amable colaboración en el trabajo de campo y por la información acerca de las localidades de estudio; y a la Unidad Insular de Medio Ambiente y de Patrimonio Histórico-Artístico del Excmo. Cabildo de Tenerife, por facilitar nuestro trabajo en los Espacios Naturales Protegidos de Malpaís de Rasca, Corona Forestal y Siete Lomas.

Por último, quiero agradecer especialmente a los compañeros con los que he compartido *despacho* en algún momento a lo largo de todos estos años: Asterio, Silvia Pérez, Bayanor, Andrés, Natalia, Alexis...; a José Ángel Afonso, por encontrarme la *cita* que estaba buscando, y Silvia Armas, por la amistad de todos estos años; a Jesús Notario, por su jovialidad y sabios consejos y, en general, a todo el profesorado, personal laboral y compañeros de la U.D.I. de Edafología, de los que guardo un grato recuerdo y con los que he compartido muy buenos momentos durante esta etapa de mi vida.

Calla la tierra para que no sepan sus nombres diferentes, ni su extendido idioma, calla porque trabaja recibiendo y naciendo: cuanto muere recoge como una anciana hambrienta: todo se pudre en ella, hasta la sombra, el rayo, los duros esqueletos, el agua, la ceniza, todo se une al rocío, a la negra llovizna de la selva.

Pablo Neruda, *El cazador en el bosque*, 1964

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| I.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO | 3 |
| I.2. ANTECEDENTES | 4 |
| I.2.1. La Desertificación | 4 |
| I.2.2. El Calentamiento Global | 8 |
| I.2.3. El Cambio Climático en Canarias | 11 |
| I.2.4. El Secuestro de Carbono en los Suelos | 12 |
| I.2.5. La incorporación del carbono a los suelos. La actividad biológica | 15 |
| I.2.6. Técnicas de separación de los componentes orgánicos del suelo | 17 |
| I.3. OBJETIVOS | 19 |
| I.4. ÁREA DE ESTUDIO | 20 |
| I.4.1. Características generales de las Islas Canarias | 20 |
| I.4.2. Los ecosistemas naturales de las Islas Canarias | 21 |
| I.4.2.1. El matorral costero | 22 |
| I.4.2.2. Los bosques termoesclerófilos | 23 |
| I.4.2.3. El monteverde | 23 |
| I.4.2.4. El pinar canario | 25 |
| I.4.2.5. El matorral de cumbre | 27 |
| II. MATERIAL Y MÉTODOS | 29 |
| II.1. SELECCIÓN DE LAS LOCALIDADES DE ESTUDIO | 31 |
| II.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS | 33 |
| II.2.1. Preparación de las muestras | 33 |
| II.2.2. Propiedades físicas | 35 |
| II.2.2.1. Densidad aparente | 35 |
| II.2.2.2. Composición granulométrica | 35 |
| II.2.2.3. Capacidad de retención de agua | 35 |
| II.2.3. Propiedades químicas | 35 |
| II.2.3.1. Reacción del suelo | 35 |
| II.2.3.2. Carbono orgánico oxidable total | 36 |
| II.2.3.3. Nitrógeno total | 36 |
| II.2.3.4. Disolución del suelo | 36 |
| II.2.3.5. Complejo de cambio | 37 |
| II.2.3.6. Carbonatos | 37 |
| II.2.3.7. Propiedades ándicas | 38 |
| II.2.4. Clasificación | 38 |
| II.3. DESCRIPCIÓN DE LA VEGETACIÓN | 38 |
| II.4. ESTIMACIÓN DE LOS RESERVORIOS DE CARBONO | 44 |
| II.4.1. Suelo | 44 |
| II.4.2. Fitomasa y necromasa | 44 |
| II.5. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL CARBONO Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA | 46 |
| II.5.1. Dinámica del desfronde | 47 |
| II.5.1.1. Cuantificación de los aportes de carbono por caída de hojarasca | 47 |

| | |
|--|----|
| II.5.1.2. Composición química de la hojarasca | 47 |
| II.5.2. Características de las raíces de los horizontes superficiales del suelo..... | 49 |
| II.5.2.1. Carbono y nitrógeno contenido en las raíces | 49 |
| II.5.2.2. Composición química de las raíces..... | 49 |
| II.5.3. Contenido y formas del carbono orgánico del suelo..... | 49 |
| II.5.3.1. Carbono orgánico oxidable total..... | 49 |
| II.5.3.2. Carbono complejo total: extracción con pirofosfato sódico | 50 |
| II.5.3.3. Carbono ligado a la biomasa microbiana..... | 50 |
| II.5.3.4. Carbono soluble en sulfato potásico | 52 |
| II.5.3.5. Carbono soluble en agua caliente | 52 |
| II.5.3.6. Carbono soluble en agua..... | 52 |
| II.5.3.7. Carbono disuelto en el extracto de saturación | 52 |
| II.5.4. Contenido y formas del carbono inorgánico del suelo | 53 |
| II.5.5. Actividad biológica del suelo | 53 |
| II.5.5.1. Respiración del suelo en el campo..... | 53 |
| II.5.5.2. Respiración del suelo en el laboratorio..... | 54 |
| II.5.5.3. Actividades enzimáticas implicadas en el ciclado del carbono | 54 |
| II.5.5.3.1. Actividad CM-celulasa | 57 |
| II.5.5.3.2. Actividad β -D-glucosidasa | 57 |
| II.5.5.3.3. Actividad deshidrogenasa..... | 58 |
| II.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO | 58 |
| II.6.1. Carbono ligado a las distintas fracciones estructurales: mega, macro y microagregados | 59 |
| II.6.2. Carbono ligado a las diferentes fracciones granulométricas: arenas, limos y arcillas 59 | |
| II.7. ESPECIACIÓN QUÍMICA DEL CARBONO DEL SUELO | 60 |
| II.7.1. Carbono total del suelo | 61 |
| II.7.2. Carbono orgánico oxidable total..... | 61 |
| II.7.3. Carbono orgánico no-oxidable | 61 |
| II.7.4. Carbono humificado | 61 |
| II.7.5. Caracterización química de la materia orgánica del suelo..... | 62 |
| II.7.5.1. Extracción y purificación de los ácidos húmicos y fúlvicos..... | 62 |
| II.7.5.2. Espectroscopia de infrarrojos con transformada de Fourier | 64 |
| II.7.5.3. Resonancia magnética nuclear de ^{13}C | 65 |
| II.7.5.4. Pirólisis / cromatografía de gases / espectrometría de masas | 66 |
| II.8. ANÁLISIS DE DATOS | 67 |
| II.8.1. Análisis de la Varianza | 67 |
| II.8.2. Análisis de Componentes Principales..... | 67 |
| III. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS Y LA VEGETACIÓN | 69 |
| III.1. INTRODUCCIÓN | 71 |
| III.2. PARCELA <i>TABAIBAL DE RASCA</i> | 71 |
| III.3. PARCELA <i>MATORRAL DE RASCA</i> | 75 |
| III.4. PARCELA <i>LOS ACEVIÑOS</i> | 78 |

| | |
|---|-----|
| III.5. PARCELA <i>LOS NORUEGOS</i> | 82 |
| III.6. PARCELA <i>PALOS PELADOS</i> | 86 |
| III.7. PARCELA <i>PAJARITOS</i> | 89 |
| III.8. PARCELA <i>RAVELO</i> | 94 |
| III.9. PARCELA <i>LOS FRAILES</i> | 98 |
| III.10. PARCELA <i>PINALITO</i> | 102 |
| III.11. PARCELA <i>SIETE LOMAS</i> | 106 |
| | |
| IV. ESTUDIO DE LOS RESERVORIOS DE CARBONO..... | 111 |
| IV.1. INTRODUCCIÓN | 113 |
| IV.2. ZONA COSTERA | 113 |
| IV.2.1. Parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> | 113 |
| IV.2.2. Parcela <i>Matorral de Rasca</i> | 115 |
| IV.3. ZONA MONTANA HÚMEDA..... | 116 |
| IV.3.1. Parcela <i>Los Aceviños</i> | 116 |
| IV.3.2. Parcela <i>Los Noruegos</i> | 119 |
| IV.3.3. Parcela <i>Palos Pelados</i> | 121 |
| IV.3.4. Parcela <i>Pajaritos</i> | 123 |
| IV.3.5. Parcela <i>Ravelo</i> | 125 |
| IV.4. ZONA MONTANA SECA..... | 127 |
| IV.4.1. Parcela <i>Los Frailes</i> | 127 |
| IV.4.2. Parcela <i>Pinalito</i> | 129 |
| IV.4.3. Parcela <i>Siete Lomas</i> | 131 |
| IV.5. DISCUSIÓN | 133 |
| | |
| V. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL CARBONO Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA..... | 143 |
| V.1. CARACTERÍSTICAS DEL DESFRONDE Y LA HOJARASCA..... | 145 |
| V.1.1. Magnitud del desfronde..... | 145 |
| V.1.2. Aportes de carbono y nitrógeno | 146 |
| V.1.3. Composición química de la hojarasca | 167 |
| V.1.4. Tasa de descomposición de la hojarasca | 169 |
| V.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RAÍCES DE LOS HORIZONTES SUPERFICIALES DEL SUELO | 170 |
| V.2.1. Contenidos de carbono y nitrógeno..... | 171 |
| V.2.2. Composición química de las raíces | 183 |
| V.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO..... | 185 |
| V.3.1. Humedad | 185 |
| V.3.2. pH y conductividad eléctrica | 191 |
| V.4. CONTENIDO Y FORMAS DEL CARBONO DEL SUELO | 194 |
| V.4.1. Carbono orgánico oxidable y nitrógeno totales..... | 196 |
| V.4.2. Carbono en formas complejadas | 213 |
| V.4.3. Carbono ligado a la biomasa microbiana | 229 |
| V.4.4. Carbono soluble en sulfato potásico..... | 236 |

| | |
|--|-----|
| V.4.5. Carbono soluble en agua caliente | 242 |
| V.4.6. Carbono orgánico disuelto..... | 248 |
| V.4.6.1. Carbono orgánico soluble en agua | 248 |
| V.4.6.2. Carbono orgánico disuelto en el extracto de saturación | 254 |
| V.4.7. Carbono en forma de bicarbonatos y carbonatos | 260 |
| V.5. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO | 263 |
| V.5.1. Respiración del suelo en el campo | 264 |
| V.5.2. Respiración del suelo en el laboratorio | 271 |
| V.5.3. Medida de actividades enzimáticas implicadas en el ciclado del carbono | 283 |
| V.5.3.1. Actividad CM-celulasa | 283 |
| V.5.3.2. Actividad β -D-glucosidasa | 288 |
| V.5.3.3. Actividad deshidrogenasa | 294 |
| V.6. BALANCE DE LOS APORTES, EMISIONES Y CONTENIDOS DE CARBONO DEL SUELO..... | 300 |
| V.7. DISCUSIÓN..... | 302 |
| | |
| VI. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO | 313 |
| VI.1. INTRODUCCIÓN | 315 |
| VI.2. CARBONO LIGADO A LAS DISTINTAS FRACCIONES ESTRUCTURALES: MEGA, MACRO Y MICROAGREGADOS..... | 315 |
| VI.2.1. Distribución de los agregados | 316 |
| VI.2.2. Carbono orgánico oxidable y nitrógeno totales | 317 |
| VI.2.3. Carbono en formas complejadas: carbono y metales pirofosfato y grado de complejación | 325 |
| VI.3. CARBONO LIGADO A LAS DIFERENTES FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS: ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS | 332 |
| VI.3.1. Composición granulométrica y clase textural | 332 |
| VI.3.2. Carbono orgánico oxidable y nitrógeno totales | 334 |
| VI.3.3. Carbono en formas complejadas: carbono y metales pirofosfato y grado de complejación | 344 |
| VI.4. DISCUSIÓN | 351 |
| | |
| VII. ESPECIACIÓN QUÍMICA DEL CARBONO DEL SUELO..... | 353 |
| VII.1. INTRODUCCIÓN..... | 355 |
| VII.2. DETERMINACIÓN DEL CARBONO CONTENIDO EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS: ÁCIDOS HÚMICOS, FÚLVICOS Y HUMINAS | 356 |
| VII.2.1. Zona costera..... | 357 |
| VII.2.1.1. Perfil <i>Tabaibal de Rasca</i> | 357 |
| VII.2.1.2. Perfil <i>Matorral de Rasca</i> | 357 |
| VII.2.2. Zona montana húmeda..... | 357 |
| VII.2.2.1. Perfil <i>Los Aceviños</i> | 357 |
| VII.2.2.2. Perfil <i>Los Noruegos</i> | 360 |
| VII.2.2.3. Perfil <i>Palos Pelados</i> | 360 |
| VII.2.2.4. Perfil <i>Pajaritos</i> | 360 |

| | |
|--|-----|
| VII.2.2.5. Perfil <i>Ravelo</i> | 363 |
| VII.2.3. Zona montana seca | 363 |
| VII.2.3.1. Perfil <i>Los Frailes</i> | 363 |
| VII.2.3.2. Perfil <i>Pinalito</i> | 363 |
| VII.2.3.3. Perfil <i>Siete Lomas</i> | 365 |
| VII.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA: APLICACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS AVANZADAS | 365 |
| VII.3.1. Espectroscopia de infrarrojos con transformada de Fourier (FT-IR)..... | 365 |
| VII.3.2. Espectroscopía de resonancia magnética nuclear de ¹³ C (RMN ¹³ C) | 368 |
| VII.3.3. Pirólisis de doble <i>shot</i> / cromatografía de gases / espectrometría de masas (Py- GC/MS)..... | 376 |
| VII.4. DISCUSIÓN | 389 |
| | |
| VIII. CONCLUSIONES | 395 |
| | |
| IX. BIBLIOGRAFÍA | 401 |
| | |
| X. ANEXOS..... | 435 |
| X.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS APORTES DE HOJARASCA..... | 437 |
| X.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RAÍCES DE LOS HORIZONTES SUPERFICIALES DEL SUELO | 439 |
| X.3. DATOS ANALÍTICOS DE LOS SUELOS..... | 441 |
| X.3.1. Características generales del suelo | 441 |
| X.3.2. Contenido y formas del carbono del suelo | 444 |
| X.3.3. Actividad biológica del suelo | 458 |
| X.3.4. Caracterización física del carbono orgánico del suelo | 464 |

ÍNDICE DE FIGURAS

I. INTRODUCCIÓN

| | |
|--|----|
| Figura I.1. Ciclo global del carbono | 13 |
|--|----|

II. MATERIAL Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| Figura II.1. Localización de las zonas de estudio..... | 32 |
| Figura II.2. Análisis dimensional de la biomasa de distintas especies vegetales | 43 |

III. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS Y LA VEGETACIÓN

| | |
|---|-----|
| Figura III.1. Parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> . Diagrama de Thornthwaite | 73 |
| Figura III.2. Parcela <i>Matorral de Rasca</i> . Diagrama de Thornthwaite..... | 76 |
| Figura III.3. Parcela <i>Los Aceviños</i> . Diagrama de Thornthwaite | 80 |
| Figura III.4. Parcela <i>Los Noruegos</i> . Diagrama de Thornthwaite..... | 83 |
| Figura III.5. Parcela <i>Palos Pelados</i> . Diagrama de Thornthwaite | 87 |
| Figura III.6. Parcela <i>Pajaritos</i> . Diagrama de Thornthwaite | 93 |
| Figura III.7. Parcela <i>Ravelo</i> . Diagrama de Thornthwaite | 96 |
| Figura III.8. Parcela <i>Los Frailes</i> . Diagrama de Thornthwaite..... | 100 |
| Figura III.9. Parcela <i>Pinalito</i> . Diagrama de Thornthwaite | 105 |
| Figura III.10. Parcela <i>Siete Lomas</i> . Diagrama de Thornthwaite..... | 108 |

IV. ESTUDIO DE LOS RESERVORIOS DE CARBONO

| | |
|---|-----|
| Figura IV.1. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> | 114 |
| Figura IV.2. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Matorral de Rasca</i> | 115 |
| Figura IV.3. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Los Aceviños</i> | 117 |
| Figura IV.4. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Los Noruegos</i> | 120 |
| Figura IV.5. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Palos Pelados</i> | 122 |
| Figura IV.6. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Pajaritos</i> | 124 |
| Figura IV.7. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Ravelo</i> | 126 |
| Figura IV.8. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Los Frailes</i> | 128 |
| Figura IV.9. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Pinalito</i> | 130 |
| Figura IV.10. Distribución de los stocks de carbono en la parcela <i>Siete Lomas</i> | 132 |
| Figura IV.11. Reserva de carbono por compartimento ecosistémico en el área de estudio..... | 135 |
| Figura IV.12. Correlación entre la fitomasa aérea y la necromasa..... | 136 |
| Figura IV.13. Relación C/N en los distintos compartimentos ecosistémicos. Zona costera..... | 138 |
| Figura IV.14. Relación C/N en los distintos compartimentos ecosistémicos. Zona montana húmeda | 139 |
| Figura IV.15. Relación C/N en los distintos compartimentos ecosistémicos. Zona montana seca..... | 139 |

V. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL CARBONO Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA

| | |
|--|-----|
| Figura V.1. Correlación entre la fitomasa aérea y el desfronde..... | 146 |
| Figura V.2. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados) | 155 |
| Figura V.3. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados)..... | 157 |
| Figura V.4. Relación C/N de la hojarasca (tejidos no-lignificados)..... | 159 |
| Figura V.5. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos lignificados)..... | 161 |

| | |
|---|-----|
| Figura V.6. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos lignificados) | 163 |
| Figura V.7. Relación C/N de la hojarasca (tejidos lignificados) | 165 |
| Figura V.8. Análisis de Componentes Principales de la composición química de la hojarasca.. | 167 |
| Figura V.9. Carbono contenido en las raíces..... | 177 |
| Figura V.10. Nitrógeno contenido en las raíces | 179 |
| Figura V.11. Relación C/N de las raíces | 181 |
| Figura V.12. Análisis de Componentes Principales de la composición química de las raíces | 183 |
| Figura V.13. Contenido de humedad del suelo | 189 |
| Figura V.14. pH y conductividad eléctrica en extracto saturado de suelo | 192 |
| Figura V.15. Análisis de Componentes Principales de las distintas formas de carbono y del nitrógeno del suelo | 195 |
| Figura V.16. Carbono orgánico oxidable total | 207 |
| Figura V.17. Nitrógeno total..... | 209 |
| Figura V.18. Relación C/N del suelo..... | 211 |
| Figura V.19. Carbono extraído con pirofosfato sódico..... | 222 |
| Figura V.20. Hierro extraído con pirofosfato sódico | 224 |
| Figura V.21. Aluminio extraído con pirofosfato sódico | 226 |
| Figura V.22. Grado de complejación del carbono del suelo..... | 228 |
| Figura V.23. Correlación entre la humedad del suelo y el C ligado a la biomasa microbiana en algunos suelos de la zona montana húmeda..... | 230 |
| Figura V.24. Carbono ligado a la biomasa microbiana..... | 234 |
| Figura V.25. Carbono extraído con sulfato potásico..... | 240 |
| Figura V.26. Carbono soluble en agua caliente | 246 |
| Figura V.27. Carbono soluble en agua | 252 |
| Figura V.28. Carbono disuelto en el extracto de saturación | 258 |
| Figura V.29. Carbono en forma de bicarbonatos disueltos y de carbonato cálcico equivalente en los suelos de la zona costera | 262 |
| Figura V.30. Análisis de Componentes Principales de la actividad biológica del suelo | 264 |
| Figura V.31. Respiración del suelo en el campo..... | 266 |
| Figura V.32. Correlación entre la respiración del suelo en el campo y la humedad..... | 270 |
| Figura V.33. Correlación de la humedad del suelo y el desfronde con la respiración del suelo en el campo | 270 |
| Figura V.34. Respiración del suelo en el laboratorio..... | 278 |
| Figura V.35. Flujo de C-CO ₂ | 280 |
| Figura V.36. Ajuste de la emisión de CO ₂ a lo largo de la incubación a una cinética de primer orden | 282 |
| Figura V.37. Actividad CM-celulasa..... | 287 |
| Figura V.38. Actividad β-D-glucosidasa..... | 292 |
| Figura V.39. Correlación entre la actividad deshidrogenasa y la respiración del suelo en el campo y en incubación | 294 |
| Figura V.40. Actividad deshidrogenasa | 298 |
| Figura V.41. Proporción relativa del carbono ligado a la biomasa microbiana respecto al carbono total | 303 |

| | |
|---|-----|
| Figura V.42. Proporción relativa del carbono extraíble con sulfato potásico respecto al carbono total | 304 |
| Figura V.43. Proporción relativa del carbono soluble en agua caliente respecto al carbono total..... | 305 |
| Figura V.44. Proporción relativa del carbono soluble del suelo fresco respecto al carbono total..... | 306 |
| Figura V.45. Proporción relativa del carbono disuelto en el extracto de saturación respecto al carbono total..... | 307 |
| Figura V.46. Proporción relativa del carbono extraíble con pirofosfato sódico respecto al carbono total | 308 |

VI. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

| | |
|---|-----|
| Figura VI.1. Distribución del tamaño de agregados en los suelos de la zona de estudio | 316 |
| Figura VI.2. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona costera..... | 317 |
| Figura VI.3. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona costera..... | 318 |
| Figura VI.4. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona costera..... | 319 |
| Figura VI.5. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda | 321 |
| Figura VI.6. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda | 321 |
| Figura VI.7. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda | 322 |
| Figura VI.8. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca | 323 |
| Figura VI.9. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca | 324 |
| Figura VI.10. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca | 324 |
| Figura VI.11. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda..... | 327 |
| Figura VI.12. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda..... | 327 |
| Figura VI.13. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda..... | 328 |
| Figura VI.14. Grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda..... | 328 |
| Figura VI.15. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca..... | 329 |
| Figura VI.16. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca..... | 331 |

| | |
|---|-------|
| Figura VI.17. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca..... | ..331 |
| Figura VI.18. Grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca | ..332 |
| Figura VI.19. Composición granulométrica de los suelos de la zona costera..... | ..333 |
| Figura VI.20. Composición granulométrica de los suelos de la zona montana húmeda | ..334 |
| Figura VI.21. Composición granulométrica de los suelos de la zona montana seca | ..334 |
| Figura VI.22. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona costera | ..336 |
| Figura VI.23. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona costera | ..336 |
| Figura VI.24. Proporción C/N de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona costera..... | ..337 |
| Figura VI.25. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda..... | ..338 |
| Figura VI.26. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda..... | ..340 |
| Figura VI.27. Proporción C/N de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda | ..340 |
| Figura VI.28. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca..... | ..342 |
| Figura VI.29. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca..... | ..343 |
| Figura VI.30. Proporción C/N de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca | ..343 |
| Figura VI.31. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda | ..346 |
| Figura VI.32. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda..... | ..346 |
| Figura VI.33. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda | ..347 |
| Figura VI.34. Grado de complejación del carbono en los suelos de la zona montana húmeda.. | ..347 |
| Figura VI.35. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca..... | ..349 |
| Figura VI.36. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca..... | ..350 |
| Figura VI.37. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca..... | ..350 |
| Figura VI.38. Grado de complejación del carbono en los suelos de la zona montana seca..... | ..351 |

VII. ESPECIACIÓN QUÍMICA DEL CARBONO DEL SUELO

| | |
|---|-------|
| Figura VII.1. Especiación del carbono en el perfil <i>Tabaibal de Rasca</i> | ..358 |
| Figura VII.2. Especiación del carbono en el perfil <i>Matorral de Rasca</i> | ..358 |
| Figura VII.3. Especiación del carbono en el perfil <i>Los Aceviños</i> | ..359 |

| | |
|---|-----|
| Figura VII.4. Especiación del carbono en el perfil <i>Los Noruegos</i> | 359 |
| Figura VII.5. Especiación del carbono en el perfil <i>Palos Pelados</i> | 361 |
| Figura VII.6. Especiación del carbono en el perfil <i>Pajaritos</i> | 361 |
| Figura VII.7. Especiación del carbono en el perfil <i>Ravelo</i> | 362 |
| Figura VII.8. Especiación del carbono en el perfil <i>Los Frailes</i> | 362 |
| Figura VII.9. Especiación del carbono en el perfil <i>Pinalito</i> | 364 |
| Figura VII.10. Especiación del carbono en el perfil <i>Siete Lomas</i> | 364 |
| Figura VII.11. Espectros de infrarrojos del suelo total, ácidos húmicos y fúlvicos..... | 366 |
| Figura VII.12. Espectro de RMN de ^{13}C del suelo total | 370 |
| Figura VII.13. Espectro de RMN de ^{13}C de ácidos húmicos | 371 |
| Figura VII.14. Espectro de RMN de ^{13}C de ácidos fúlvicos..... | 372 |
| Figura VII.15. Regiones principales de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de suelo total..... | 374 |
| Figura VII.16. Regiones principales de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de ácidos húmicos | 375 |
| Figura VII.17. Regiones principales de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de ácidos fúlvicos | 376 |
| Figura VII.18. Cromatogramas de ión total y trazas de alcano/alqueno de los productos de pirólisis liberados a 610°C de la fracción de suelo total..... | 378 |
| Figura VII.19. Cromatogramas de ión total y trazas de iones seleccionados de los productos de desorción liberados a 260°C de las fracciones húmicas y fúlvicas..... | 379 |
| Figura VII.20. Cromatogramas de ión total y trazas de iones seleccionados de los productos de pirólisis liberados a 610°C de los ácidos húmicos | 381 |
| Figura VII.21. Cromatogramas de ión total y trazas de iones seleccionados de los productos de pirólisis liberados a 610°C de los ácidos fúlvicos | 387 |

ÍNDICE DE FOTOS

II. MATERIAL Y MÉTODOS

| | |
|--|----|
| Foto II.1. Aro de recogida de necromasa | 45 |
| Foto II.2. Bandeja de recogida de hojarasca | 48 |
| Foto II.3. Cuadrícula de recogida de hojarasca | 48 |
| Foto II.4. Muestras para fumigación | 51 |
| Foto II.5. Fumigación con cloroformo | 51 |
| Foto II.6. Cámara para medir la respiración en campo | 55 |
| Foto II.7. Recipiente con NaOH sobre trípode..... | 55 |
| Foto II.8. Cámara con recipiente de NaOH..... | 56 |
| Foto II.9. Método de la incubación estática | 56 |
| Foto II.10. Sistema de extracción de lípidos Soxhlet | 63 |
| Foto II.11. Muestras de ácidos húmicos preparadas para diálisis | 63 |
| Foto II.12. Muestras de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos liofilizados..... | 64 |

III. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS Y LA VEGETACIÓN

| | |
|---|-----|
| Foto III.1. Panorámica de la parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> : tabaibal dulce halófilo..... | 74 |
| Foto III.2. Perfil <i>Tabaibal de Rasca</i> : Solonchak hipersálico (sódico, clorídico); Haplosalid típico..... | 74 |
| Foto III.3. Panorámica de la parcela <i>Matorral de Rasca</i> : matorral árido de sustitución..... | 77 |
| Foto III.4. Perfil <i>Matorral de Rasca</i> : Solonetz háplico (arídico); Natrargid ácuico | 77 |
| Foto III.5. Panorámica de la parcela <i>Los Aceviños</i> : laurisilva de valle | 81 |
| Foto III.6. Perfil <i>Los Aceviños</i> : Andosol aluándico eutrosílico fúlvico (éutrico, limoso); Fulvudand éutrico páchico | 81 |
| Foto III.7. Panorámica de la parcela <i>Los Noruegos</i> : laurisilva de ladera..... | 85 |
| Foto III.8. Perfil <i>Los Noruegos</i> : Andosol silándico eutrosílico fúlvico (dístrico, limoso); Fulvudand páchico | 85 |
| Foto III.9. Panorámica de la parcela <i>Palos Pelados</i> : fayal-brezal arbóreo | 88 |
| Foto III.10. Perfil <i>Palos Pelados</i> : Andosol aluándico eutrosílico fúlvico (dístrico, endoarcilloso); Fulvudand últico..... | 88 |
| Foto III.11. Panorámica de la parcela <i>Pajaritos</i> : brezal arbustivo | 91 |
| Foto III.12. Perfil <i>Pajaritos</i> : Luvisol léptico (húmico, esquelético); Haploxeralf lítico ándico . | 91 |
| Foto III.13. Panorámica de la parcela <i>Ravelo</i> : plantación de <i>Pinus radiata</i> | 97 |
| Foto III.14. Perfil <i>Ravelo</i> : Andosol silándico fúlvico (hiperdístrico, limoso); Fulvudand éutrico páchico | 97 |
| Foto III.15. Panorámica de la parcela <i>Los Frailes</i> : pinar húmedo | 101 |
| Foto III.16. Perfil <i>Los Frailes</i> : Phaeozem lúvico (arcilloso); Argiustoll ándico..... | 101 |
| Foto III.17. Panorámica de la parcela <i>Pinalito</i> : pinar xérico | 104 |
| Foto III.18. Perfil <i>Pinalito</i> : Cambisol léptico (húmico, dístrico); Distroxerept lítico..... | 104 |
| Foto III.19. Panorámica de la parcela <i>Siete Lomas</i> : escobonal | 109 |

Foto III.20. Perfil *Siete Lomas*: Andosol silándico fúlvico endoléptico (dístrico); Haploxerand
álfico húmico.....109

ÍNDICE DE TABLAS

I. INTRODUCCIÓN

| | |
|--|----|
| Tabla I.1. Principales características geográficas de las Islas Canarias | 21 |
|--|----|

II. MATERIAL Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| Tabla II.1. Descripción de las zonas de estudio | 34 |
| Tabla II.2. Propiedades físico-químicas analizadas en los suelos de los ecosistemas estudiados | 36 |
| Tabla II.3. Superficie, tamaño muestral y descriptores utilizados en la determinación de la biomasa | 41 |
| Tabla II.4. Ecuaciones de regresión utilizadas en la determinación de la biomasa..... | 42 |

III. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS Y LA VEGETACIÓN

| | |
|--|----|
| Tabla III.1. Perfil <i>Tabaibal de Rasca</i> . Descripción del suelo | 72 |
| Tabla III.2. Parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> . Inventario de la vegetación..... | 72 |
| Tabla III.3. Parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> . Fitomasa y necromasa | 72 |
| Tabla III.4. Perfil <i>Tabaibal de Rasca</i> . Resultados analíticos generales | 73 |
| Tabla III.5. Perfil <i>Matorral de Rasca</i> . Descripción del suelo | 76 |
| Tabla III.6. Parcela <i>Matorral de Rasca</i> . Inventario de la vegetación..... | 76 |
| Tabla III.7. Parcela <i>Matorral de Rasca</i> . Fitomasa y necromasa | 78 |
| Tabla III.8. Perfil <i>Matorral de Rasca</i> . Resultados analíticos generales | 78 |
| Tabla III.9. Perfil <i>Los Aceviños</i> . Descripción del suelo | 79 |
| Tabla III.10. Parcela <i>Los Aceviños</i> . Inventario de la vegetación..... | 80 |
| Tabla III.11. Parcela <i>Los Aceviños</i> . Fitomasa y necromasa | 80 |
| Tabla III.12. Perfil <i>Los Aceviños</i> . Resultados analíticos generales | 82 |
| Tabla III.13. Perfil <i>Los Noruegos</i> . Descripción del suelo | 83 |
| Tabla III.14. Parcela <i>Los Noruegos</i> . Inventario de la vegetación | 84 |
| Tabla III.15. Parcela <i>Los Noruegos</i> . Fitomasa y necromasa | 84 |
| Tabla III.16. Perfil <i>Los Noruegos</i> . Resultados analíticos generales..... | 84 |
| Tabla III.17. Perfil <i>Palos Pelados</i> . Descripción del suelo | 86 |
| Tabla III.18. Parcela <i>Palos Pelados</i> . Inventario de la vegetación..... | 87 |
| Tabla III.19. Parcela <i>Palos Pelados</i> . Fitomasa y necromasa | 87 |
| Tabla III.20. Perfil <i>Palos Pelados</i> . Resultados analíticos generales | 89 |
| Tabla III.21. Perfil <i>Pajaritos</i> . Descripción del suelo | 90 |
| Tabla III.22. Parcela <i>Pajaritos</i> . Inventario de la vegetación..... | 92 |
| Tabla III.23. Parcela <i>Pajaritos</i> . Fitomasa y necromasa | 92 |
| Tabla III.24. Perfil <i>Pajaritos</i> . Resultados analíticos generales | 93 |
| Tabla III.25. Perfil <i>Ravelo</i> . Descripción del suelo | 95 |
| Tabla III.26. Parcela <i>Ravelo</i> . Inventario de la vegetación..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| Tabla III.27. Parcela <i>Ravelo</i> . Fitomasa y necromasa | 95 |
| Tabla III.28. Perfil <i>Ravelo</i> . Resultados analíticos generales | 96 |
| Tabla III.29. Perfil <i>Los Frailes</i> . Descripción del suelo | 99 |
| Tabla III.30. Parcela <i>Los Frailes</i> . Inventario de la vegetación | 99 |
| Tabla III.31. Parcela <i>Los Frailes</i> . Fitomasa y necromasa | 99 |
| Tabla III.32. Perfil <i>Los Frailes</i> . Resultados analíticos generales..... | 100 |
| Tabla III.33. Perfil <i>Pinalito</i> . Descripción del suelo | 103 |
| Tabla III.34. Parcela <i>Pinalito</i> . Inventario de la vegetación..... | 103 |
| Tabla III.35. Parcela <i>Pinalito</i> . Fitomasa y necromasa | 103 |
| Tabla III.36. Perfil <i>Pinalito</i> . Resultados analíticos generales | 105 |
| Tabla III.37. Perfil <i>Siete Lomas</i> . Descripción del suelo | 107 |
| Tabla III.38. Parcela <i>Siete Lomas</i> . Inventario de la vegetación | 107 |
| Tabla III.39. Parcela <i>Siete Lomas</i> . Fitomasa y necromasa..... | 107 |
| Tabla III.40. Parcela <i>Siete Lomas</i> . Resultados analíticos generales..... | 108 |

IV. ESTUDIO DE LOS RESERVORIOS DE CARBONO

| | |
|--|-----|
| Tabla IV.1. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Tabaibal de Rasca</i> | 114 |
| Tabla IV.2. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Matorral de Rasca</i> | 115 |
| Tabla IV.3. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Los Aceviños</i> | 118 |
| Tabla IV.4. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Los Noruegos</i> ... | 120 |
| Tabla IV.5. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Palos Pelados</i> .. | 122 |
| Tabla IV.6. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Pajaritos</i> | 124 |
| Tabla IV.7. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Ravelo</i> | 126 |
| Tabla IV.8. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Los Frailes</i> | 128 |
| Tabla IV.9. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Pinalito</i> | 130 |
| Tabla IV.10. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Siete Lomas</i> | 132 |
| Tabla IV.11. Biomasa subterránea total y su distribución con la profundidad en el área de estudio | 136 |
| Tabla IV.12. Contenido de carbono orgánico en Andosoles..... | 136 |
| Tabla IV.13. Contenido de carbono orgánico en suelos de Tenerife | 137 |
| Tabla IV.14. Distribución del carbono con la profundidad en el área de estudio | 137 |
| Tabla IV.15. Análisis estadístico de la relación C/N entre compartimentos ecosistémicos..... | 138 |
| Tabla IV.16. Análisis estadístico de las proporciones entre distintos reservorios de carbono . | 140 |
| Tabla IV.17. Razón fitomasa subterránea / aérea..... | 141 |

V. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL CARBONO Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA

| | |
|---|-----|
| Tabla V.1. Desfronde, biomasa y tasa de renovación de la biomasa | 146 |
| Tabla V.2. Aporte de carbono en forma de hojarasca en la zona costera..... | 148 |
| Tabla V.3. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca en la zona costera | 148 |
| Tabla V.4. Relación C/N de la hojarasca en la zona costera..... | 148 |
| Tabla V.5. Análisis de los aportes de hojarasca en el conjunto del ecosistema costero..... | 149 |
| Tabla V.6. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados) en la zona montana húmeda | 150 |
| Tabla V.7. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados) en la zona montana húmeda | 150 |
| Tabla V.8. Relación C/N de la hojarasca (tejidos no-lignificados) en la zona montana húmeda | 150 |
| Tabla V.9. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos lignificados) en la zona montana húmeda | 151 |
| Tabla V.10. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos lignificados) en la zona montana húmeda | 151 |
| Tabla V.11. Relación C/N de la hojarasca (tejidos lignificados) en la zona montana húmeda..... | 151 |
| Tabla V.12. Análisis de los aportes de hojarasca en el conjunto del ecosistema montano húmedo..... | 152 |
| Tabla V.13. Aporte de carbono en forma de hojarasca en la zona montana seca | 153 |
| Tabla V.14. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca en la zona montana seca..... | 153 |
| Tabla V.15. Relación C/N de la hojarasca en la zona montana seca..... | 154 |
| Tabla V.16. Análisis de los aportes de hojarasca en el conjunto del ecosistema montano seco..... | 154 |
| Tabla V.17. Composición química de la hojarasca | 168 |
| Tabla V.18. Tasa de descomposición de la hojarasca | 170 |
| Tabla V.19. Contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N en la zona costera | 171 |
| Tabla V.20. Análisis del contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N en el conjunto del ecosistema costero | 172 |
| Tabla V.21. Contenido de carbono en forma de raíces en la zona montana húmeda..... | 173 |
| Tabla V.22. Contenido de nitrógeno en forma de raíces en la zona montana húmeda | 173 |
| Tabla V.23. Relación C/N de las raíces en la zona montana húmeda | 173 |
| Tabla V.24. Análisis del contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N en el conjunto del ecosistema montano húmedo..... | 174 |
| Tabla V.25. Contenido de carbono en forma de raíces en la zona montana seca..... | 175 |
| Tabla V.26. Contenido de nitrógeno en forma de raíces en la zona montana seca | 175 |
| Tabla V.27. Relación C/N de las raíces en la zona montana seca..... | 175 |
| Tabla V.28. Análisis del contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N en el conjunto del ecosistema montano seco..... | 176 |
| Tabla V.29. Composición química de las raíces | 184 |

| | |
|--|-----|
| Tabla V.30. Contenido de humedad del suelo en la zona costera | 186 |
| Tabla V.31. Contenido de humedad del suelo en la zona montana húmeda..... | 187 |
| Tabla V.32. Contenido de humedad del suelo en la zona montana seca..... | 188 |
| Tabla V.33. pH del extracto saturado de suelo en la zona costera | 191 |
| Tabla V.34. Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo en la zona costera | 193 |
| Tabla V.35. Carbono orgánico oxidable total en los suelos de la zona costera..... | 197 |
| Tabla V.36. Nitrógeno total en los suelos de la zona costera..... | 198 |
| Tabla V.37. Relación C/N en los suelos de la zona costera | 199 |
| Tabla V.38. Carbono orgánico oxidable total en los suelos de la zona montana húmeda | 201 |
| Tabla V.39. Nitrógeno total en los suelos de la zona montana húmeda..... | 202 |
| Tabla V.40. Relación C/N en los suelos de la zona montana húmeda | 203 |
| Tabla V.41. Carbono orgánico oxidable total en los suelos de la zona montana seca | 204 |
| Tabla V.42. Nitrógeno total en los suelos de la zona montana seca | 205 |
| Tabla V.43. Relación C/N en los suelos de la zona montana seca..... | 206 |
| Tabla V.44. Carbono extraído con pirofosfato sódico en los suelos de la zona montana húmeda | 214 |
| Tabla V.45. Hierro extraído con pirofosfato sódico en los suelos de la zona montana húmeda | 215 |
| Tabla V.46. Aluminio extraído con pirofosfato sódico en los suelos de la zona montana húmeda | 216 |
| Tabla V.47. Grado de complejación del carbono orgánico del suelo en los suelos de la zona montana húmeda | 217 |
| Tabla V.48. Carbono extraído con pirofosfato sódico en los suelos de la zona montana seca .. | 218 |
| Tabla V.49. Hierro extraído con pirofosfato sódico en los suelos de la zona montana seca | 219 |
| Tabla V.50. Aluminio extraído con pirofosfato sódico en los suelos de la zona montana seca | 220 |
| Tabla V.51. Grado de complejación del carbono orgánico del suelo en los suelos de la zona montana seca | 221 |
| Tabla V.52. Carbono ligado a la biomasa microbiana en los suelos de la zona costera..... | 231 |
| Tabla V.53. Carbono ligado a la biomasa microbiana en los suelos de la zona montana húmeda | 232 |
| Tabla V.54. Carbono ligado a la biomasa microbiana en los suelos de la zona montana seca .. | 233 |
| Tabla V.55. Carbono soluble en sulfato potásico en los suelos de la zona costera | 237 |
| Tabla V.56. Carbono soluble en sulfato potásico en los suelos de la zona montana húmeda | 238 |
| Tabla V.57. Carbono soluble en sulfato potásico en los suelos de la zona montana seca | 239 |
| Tabla V.58. Carbono soluble en agua caliente en los suelos de la zona costera | 243 |

| | |
|--|-----|
| Tabla V.59. Carbono soluble en agua caliente en los suelos de la zona montana húmeda | 244 |
| Tabla V.60. Carbono soluble en agua caliente en los suelos de la zona montana seca | 245 |
| Tabla V.61. Carbono soluble en agua en los suelos de la zona costera | 249 |
| Tabla V.62. Carbono soluble en agua en los suelos de la zona montana húmeda | 250 |
| Tabla V.63. Carbono soluble en agua en los suelos de la zona montana seca | 251 |
| Tabla V.64. Carbono disuelto en extracto saturado en los suelos de la zona costera | 255 |
| Tabla V.65. Carbono disuelto en extracto saturado en los suelos de la zona montana húmeda | 256 |
| Tabla V.66. Carbono disuelto en extracto saturado en los suelos de la zona montana seca ... | 257 |
| Tabla V.67. Carbono en forma de carbonatos en los suelos de la zona costera | 260 |
| Tabla V.68. Carbono en forma de bicarbonatos en los suelos de la zona costera | 261 |
| Tabla V.69. Respiración del suelo en el campo en la zona costera | 265 |
| Tabla V.70. Respiración del suelo en el campo en la zona montana húmeda | 268 |
| Tabla V.71. Respiración del suelo en el campo en la zona montana seca | 269 |
| Tabla V.72. Respiración del suelo en el laboratorio en la zona costera | 272 |
| Tabla V.73. Flujo de C-CO ₂ en los suelos de la zona costera | 273 |
| Tabla V.74. Respiración del suelo en el laboratorio en la zona montana húmeda | 274 |
| Tabla V.75. Flujo de C-CO ₂ en los suelos de la zona montana húmeda | 275 |
| Tabla V.76. Respiración del suelo en el laboratorio en la zona montana seca | 276 |
| Tabla V.77. Flujo de C-CO ₂ en los suelos de la zona montana seca | 277 |
| Tabla V.78. Resultados del análisis de la cinética de mineralización | 283 |
| Tabla V.79. Actividad CM-celulasa en los suelos de la zona montana húmeda | 285 |
| Tabla V.80. Actividad CM-celulasa en los suelos de la zona montana seca | 286 |
| Tabla V.81. Actividad β-D-glucosidasa en los suelos de la zona costera | 289 |
| Tabla V.82. Actividad β-D-glucosidasa en los suelos de la zona montana húmeda | 290 |
| Tabla V.83. Actividad β-D-glucosidasa en los suelos de la zona montana seca | 291 |
| Tabla V.84. Actividad deshidrogenasa en los suelos de la zona costera | 295 |
| Tabla V.85. Actividad deshidrogenasa en los suelos de la zona montana húmeda | 296 |
| Tabla V.86. Actividad deshidrogenasa en los suelos de la zona montana seca | 297 |
| Tabla V.87. Balance total de carbono del sistema suelo-raíces | 300 |
| Tabla V.88. Balance total de carbono del suelo | 301 |
| Tabla V.89. Resultados obtenidos y referidos por otros autores, sobre proporciones relativas de las fracciones de carbono y medidas de actividad biológica de suelos | 309 |
| Tabla V.90. Aporte medio anual de tejidos no-lignificados y lignificados | 309 |
| Tabla V.91. Balance interanual bruto y proporcional de los stocks de carbono y nitrógeno | 312 |

VI. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

| | |
|--|-----|
| Tabla VI.1. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona costera..... | 317 |
| Tabla VI.2. Contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona costera | 318 |
| Tabla VI.3. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda..... | 319 |
| Tabla VI.4. Contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda | 320 |
| Tabla VI.5. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca | 322 |
| Tabla VI.6. Contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca..... | 323 |
| Tabla VI.7. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda..... | 325 |
| Tabla VI.8. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda | 326 |
| Tabla VI.9. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca | 329 |
| Tabla VI.10. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca | 330 |
| Tabla VI.11. Clase textural de los suelos de la zona de estudio..... | 333 |
| Tabla VI.12. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona costera..... | 335 |
| Tabla VI.13. Contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona costera..... | 335 |
| Tabla VI.14. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda..... | 338 |
| Tabla VI.15. Contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda..... | 339 |
| Tabla VI.16. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana seca..... | 341 |
| Tabla VI.17. Contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana seca | 342 |
| Tabla VI.18. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda | 344 |
| Tabla VI.19. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda | 345 |

Tabla VI.20. Análisis de la Varianza de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana seca348

Tabla VI.21. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda349

VII. ESPECIACIÓN QUÍMICA DEL CARBONO DEL SUELO

Tabla VII.1. Especiación del carbono en los perfiles de suelo de la zona de estudio356

Tabla VII.2. Asignaciones de bandas en los espectros de FT-IR.....367

Tabla VII.3. Asignaciones estructurales para los principales desplazamientos químicos en los espectros de RMN de ^{13}C 369

Tabla VII.4. Valores de integración de las principales regiones de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de suelo total y relaciones entre áreas de las principales regiones.....373

Tabla VII.5. Valores de integración de las principales regiones de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de ácidos húmicos y relaciones entre áreas de las principales regiones374

Tabla VII.6. Valores de integración de las principales regiones de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de ácidos fúlvicos y relaciones entre áreas de las principales regiones375

Tabla VII.7. Compuestos liberados a partir de las fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos durante la desorción térmica a 260°C.....380

Tabla VII.8. Abundancia de los principales ácidos grasos liberados por la pirólisis a 610°C de los ácidos húmicos y proporción 16 vs. 18 de metil-ésteres de ácidos grasos382

Tabla VII.9. Abundancia de los principales productos de pirólisis liberados de los ácidos húmicos a 610°C.....384

Tabla VII.10. Abundancia de los principales productos de pirólisis liberados de los ácidos fúlvicos a 610°C388

Tabla VII.11. Proporción relativa del carbono contenido en las distintas sustancias húmicas..390

Tabla VII.12. Valores-umbral de las proporciones de las fracciones húmicas del suelo para el diagnóstico de los horizontes genéticos A y B.....392

Tabla VII.13. Valores de algunos índices utilizados en la identificación de horizontes del suelo.....392

X. ANEXOS

Tabla X.1. Aportes de hojarasca (tejidos no-lignificados)437

Tabla X.2. Aportes de hojarasca (tejidos lignificados)437

Tabla X.3. Aporte de C-hojasca (tejidos no-lignificados)437

Tabla X.4. Aportes de C-hojasca (tejidos lignificados)438

Tabla X.5. Aportes de N-hojasca (tejidos no-lignificados).....438

Tabla X.6. Aportes de N-hojasca (tejidos lignificados).....438

Tabla X.7. Relación C/N de la hojarasca (tejidos no-lignificados).....439

Tabla X.8. Relación C/N de la hojarasca (tejidos lignificados)439

Tabla X.9. Contenido de raíces en el suelo (0-30 cm)439

| | |
|---|-----|
| Tabla X.10. Contenido de carbono en forma de raíces (0-30 cm) | 440 |
| Tabla X.11. Contenido de nitrógeno en forma de raíces (0-30 cm) | 440 |
| Tabla X.12. Relación C/N de las raíces (0-30 cm)..... | 440 |
| Tabla X.13. Humedad del suelo | 441 |
| Tabla X.14. pH del extracto saturado del suelo | 442 |
| Tabla X.15. Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo | 443 |
| Tabla X.16. Contenido de C-oxidable total..... | 444 |
| Tabla X.17. Contenido de N-total | 445 |
| Tabla X.18. Relación C/N del suelo..... | 446 |
| Tabla X.19. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1M..... | 447 |
| Tabla X.20. Hierro extraído con pirofosfato 0,1M..... | 448 |
| Tabla X.21. Aluminio extraído con pirofosfato sódico 0,1M | 449 |
| Tabla X.22. Grado de complejación del carbono orgánico del suelo..... | 450 |
| Tabla X.23. Carbono ligado a la biomasa microbiana | 451 |
| Tabla X.24. Carbono soluble en sulfato potásico 0,5M | 452 |
| Tabla X.25. Carbono soluble en agua (20°C)..... | 453 |
| Tabla X.26. Carbono soluble en agua caliente (80°C) | 454 |
| Tabla X.27. Carbono disuelto en el extracto saturado | 455 |
| Tabla X.28. Carbono en forma de bicarbonatos..... | 456 |
| Tabla X.29. Carbono en forma de carbonatos..... | 457 |
| Tabla X.30. Respiración del suelo en el campo (CO ₂)..... | 458 |
| Tabla X.31. Respiración del suelo en el campo (C-CO ₂)..... | 458 |
| Tabla X.32. Carbono mineralizado en forma de CO ₂ | 459 |
| Tabla X.33. Flujo de C-CO ₂ | 460 |
| Tabla X.34. Actividad CM-celulasa..... | 461 |
| Tabla X.35. Actividad β-D-glucosidasa..... | 462 |
| Tabla X.36. Actividad deshidrogenasa | 463 |
| Tabla X.37. Distribución de las distintas fracciones de agregados del suelo..... | 464 |
| Tabla X.38. Contenido de carbono de las distintas fracciones de agregados..... | 464 |
| Tabla X.39. Contenido de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados | 465 |
| Tabla X.40. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados | 465 |
| Tabla X.41. Contenido de carbono extraído con pirofosfato 0,1M de las distintas fracciones de agregados..... | 466 |
| Tabla X.42. Contenido de hierro extraído con pirofosfato 0,1M de las distintas fracciones de agregados..... | 466 |
| Tabla X.43. Contenido de aluminio extraído con pirofosfato 0,1M de las distintas fracciones de agregados..... | 467 |
| Tabla X.44. Grado de complejación del carbono orgánico de las distintas fracciones de agregados..... | 467 |

| | |
|---|-----|
| Tabla X.45. Granulometría y densidad aparente del suelo..... | 468 |
| Tabla X.46. Contenido de carbono en las distintas fracciones granulométricas | 469 |
| Tabla X.47. Contenido de nitrógeno en las distintas fracciones granulométricas..... | 470 |
| Tabla X.48. Relación C/N en las distintas fracciones granulométricas | 471 |
| Tabla X.49. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1M en las distintas fracciones granulométricas | 472 |
| Tabla X.50. Hierro extraído con pirofosfato sódico 0,1M en las distintas fracciones granulométricas | 473 |
| Tabla X.51. Aluminio extraído con pirofosfato sódico 0,1M en las distintas fracciones granulométricas | 474 |
| Tabla X.52. Grado de complejación del carbono orgánico en las distintas fracciones granulométricas | 475 |

I. INTRODUCCIÓN

I.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

El suelo es un recurso natural no renovable o muy difícil y costoso de renovar, siendo considerado como un factor fundamental en el mantenimiento del equilibrio global de la biosfera. Es además uno de los más importantes reservorios de carbono existentes en el planeta, superior incluso al acumulado en la atmósfera (3,2 veces) y en la biosfera (4,1 veces) (Lal, 2001).

Esta capacidad de almacenamiento de carbono de los suelos los convierte en uno de los más importantes sumideros de CO₂ existentes en el planeta, jugando un importante papel en el Ciclo Global del Carbono. A través de la fotosíntesis, las plantas verdes transforman el CO₂ atmosférico en hidratos de carbono que acumulan en sus tejidos y, a la muerte de éstos y mediante procesos de mineralización y humificación, el carbono del CO₂ asimilado por las plantas entra a formar parte de la materia orgánica del suelo. El carbono edáfico presenta un elevado dinamismo, interviniendo en procesos fundamentales para el crecimiento de las plantas y organismos del suelo y participando activamente en los flujos e intercambio con la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera e incluso con la litosfera, a través del carbono inorgánico (carbonatos) acumulado en los suelos de zonas áridas (Bouwman & Leemans, 1995; Lal *et al.*, 1995a; Lal, 1998a; IPCC, 2000; Khanna *et al.*, 2001).

Sin embargo, problemas ambientales como el Calentamiento Global y la Desertificación, generados por diversos procesos biofísicos y, sobre todo, por las actividades humanas, han ocasionado un importante deterioro de las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos, produciendo una disminución progresiva de su potencialidad para secuestrar carbono y otras funciones.

Los ecosistemas de las Islas Canarias se caracterizan generalmente por su fragilidad, presentando graves limitaciones climáticas, topográficas y edáficas, de manera que son extremadamente sensibles a los procesos de degradación ambiental. Ejemplo de ello es la degradación de la cubierta vegetal en las Islas, con el consiguiente reemplazo de las comunidades maduras por otras de sustitución, la pérdida de biodiversidad, la disminución de los recursos hídricos y sobre todo la degradación de los suelos (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 1998; Rodríguez Rodríguez, 2002). Actualmente el Archipiélago se encuentra afectado por un proceso severo de Desertificación. Según datos recientes un 78 % del territorio presenta un riesgo alto o muy alto de desertificación (PAND, 2008). Además, se trata de una zona donde los modelos de cambio climático predicen modificaciones drásticas y negativas en el funcionamiento del suelo y los ecosistemas (Moreno, 2005).

Con esta Tesis Doctoral se pretende evaluar el comportamiento de los suelos de los principales ecosistemas de las Islas Canarias (matorral costero, monteverde y pinar) como sumideros o emisores de CO₂ atmosférico, y avanzar en el conocimiento de la dinámica de la materia orgánica en los suelos de origen volcánico y en particular de los Andosoles, reconocidos en otros lugares como altamente eficientes en cuanto al secuestro de CO₂. De acuerdo con este planteamiento se realiza un estudio en los principales ecosistemas canarios, consistente en el seguimiento estacional de diferentes parámetros biológicos implicados en el Ciclo Global del Carbono (medidas de respiración, actividades enzimáticas, etc.) y en la cuantificación de los

reservorios de carbono en los distintos compartimentos del ecosistema (biomasa, necromasa y suelo) así como una caracterización estructural de los principales componentes de la materia orgánica de los suelos.

I.2. ANTECEDENTES

I.2.1. La Desertificación

Entre los principales cambios y alteraciones ambientales que afectan actualmente a los paisajes de las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas, la desertificación constituye una seria amenaza debido a su incidencia territorial, ambiental, ecológica y socioeconómica.

El término *desertificación* resulta controvertido y de difícil conceptualización, siendo con frecuencia utilizado erróneamente y confundido con el término *desertización*. Éste es un proceso natural que ocurre en los límites geográficos de los desiertos, donde la falta de agua es el principal factor limitante de la productividad de los ecosistemas, que conlleva a una degradación progresiva de los ecosistemas, siempre debida a causas naturales. Además, la percepción de la desertificación varía mucho según el grado de desarrollo, de conocimiento científico, cultural, económico y social de las poblaciones afectadas, habiéndose formulado numerosas definiciones de la misma. Una de las más ampliamente aceptadas es la formulada por la UNCED (1992) y el CCD (1996) que la definen como *un proceso complejo que reduce la productividad y el valor de los recursos naturales, en el contexto específico de condiciones climáticas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de variaciones climáticas y actuaciones humanas adversas*.

Los agentes desencadenantes de la desertificación son complejos y se producen como consecuencia de una retroalimentación positiva que refuerza los procesos naturales a causa de la intervención del hombre. Aunque muchos de estos agentes son antiguos, desde la década de los años setenta han resurgido como problemas nuevos ligados a importantes cambios en los usos del suelo, produciendo una intensa erosión del suelo, la salinización y contaminación de suelos y aguas, entre otros procesos.

La desertificación es, pues, un problema ambiental complejo surgido de la ruptura del equilibrio entre el sistema de producción de los geoecosistemas naturales y el sistema de explotación humana, que desencadena procesos de degradación que dificultan la conservación de los recursos naturales imprescindibles para el desarrollo sostenible (López, 2001). Sí parece haber acuerdo general en que de todos los procesos implicados, la degradación cualitativa y cuantitativa del suelo y la consiguiente pérdida de sus funciones productivas y ambientales, es uno de los más importantes. De entre estos procesos, la erosión acelerada, es decir, condicionada por las actividades humanas, es uno de los más destacados.

La intensificación de la agricultura (excesiva mecanización, uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas) ha contribuido enormemente a la degradación del suelo. La deserción de la agricultura de secano, el abandono de prácticas tradicionales de conservación del suelo, la extracción abusiva de las aguas subterráneas y el uso de aguas de mala calidad para riego son

factores desencadenantes de la desertificación. Asimismo, desastres ambientales como los incendios y fenómenos como la litorización también han resultado muy perjudiciales (López, 2001).

Actualmente la desertificación se encuentra en rápida expansión a pesar de su detección y de la puesta en marcha de planes de acción desde los años setenta. Se han celebrado desde entonces numerosas conferencias y convenciones científicas de carácter internacional que han contribuido enormemente a la concienciación de la población, no sólo con respecto a la desertificación, sino también en el caso de otros problemas ambientales como el Cambio Global, la pérdida de Biodiversidad, la Contaminación Ambiental y el Desarrollo Sostenible. Así, en 1977, se celebró la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación (Nairobi, Kenya), donde se generó un **Plan de Acción para combatir la Desertificación** (PACD), que dio lugar al *Informe Bruntland "Nuestro Futuro Común"* en 1987. Además, se consideró a España como el único país de Europa occidental con riesgo muy grave de desertificación. Siguiendo las recomendaciones de las Naciones Unidas, España puso en marcha, en 1981, el **Proyecto de Lucha contra la Desertificación en el Mediterráneo** (Proyecto LUCDEME), convirtiéndose así en el primer país desarrollado en elaborar estrategias en materia de desertificación. Más tarde, la **Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo** (Conferencia de Río o Cumbre de la Tierra) de 1992, apoyó la creación de una **Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación**, que entró en vigor en 1996 y ha sido ratificada por 191 países (PAND, 2008). Dicha Convención estableció la necesidad de elaborar y ejecutar **Programas de Acción Nacional contra la Desertificación** (PAND) para todos los países signatarios afectados. El Programa de Acción Nacional aprobado en España tiene como objetivo fundamental el “*contribuir al logro del desarrollo sostenible de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del territorio nacional y, en particular, la prevención o la reducción de la degradación de las tierras, la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas y la recuperación de tierras desertificadas*” (PAND, 2008).

En cuanto a la cantidad exacta de superficie afectada por desertificación a nivel mundial, existe un alto grado de incertidumbre y las estimaciones varían según la fuente utilizada. Aún así, se dispone de algunos datos que dan una idea aproximada de la magnitud del problema (UNCED, 1992; UNEP, 1992; INCD, 1994) que se extiende por las tierras secas del planeta:

- La desertificación afecta al 70% de todas las tierras áridas, equivalente a unos 3.600 millones de hectáreas y a la sexta parte de la población mundial (unos 1.000 millones de seres humanos).
- África es el continente con un nivel de degradación más acentuado (73% de las tierras secas cultivadas), debido a sus condiciones socio-económicas desfavorables. La cifra para Asia es del 70%.
- En las zonas áridas y semiáridas del planeta se desertifican cada año el 30% de las tierras de cultivo de regadío (unas 500.000 hectáreas), debido fundamentalmente a la salinización del agua y del suelo.
- Se estima que más de 100 países presentan riesgo de desertificación, de los cuales solo unos pocos disponen de recursos financieros para hacer frente al problema. Como

consecuencia se prevén grandes desplazamientos de personas, especialmente del continente africano.

- En América Latina el problema se está agravando enormemente como consecuencia de la sobreexplotación forestal.
- En América del Norte, un 74 % del total de tierras agrícolas de las zonas secas está afectada por algún tipo de degradación.
- En Australia constituye el problema ambiental más grave e importante, debido sobre todo al sobrepastoreo.
- En las tierras mediterráneas del sur de Europa, la erosión y el riesgo de desertificación amenazan al 60% de los paisajes, lo que constituye uno de los más importantes riesgos ambientales de la Unión Europea. Los países más amenazados son España, Grecia, Portugal e Italia.

En el territorio español, más de dos terceras partes se incluyen en las categorías que la *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación* considera como susceptibles de sufrir desertificación, es decir, las áreas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. En estas categorías entra la práctica totalidad de la mitad sur de España, exceptuando las cadenas montañosas más elevadas, la meseta norte, la cuenca del Ebro y la costa catalana.

Los procesos de desertificación en España son la consecuencia de la incidencia sobre el medio de factores naturales y antrópicos, estrechamente relacionados entre sí, y que desencadenan un conjunto de procesos y acciones que llevan a una degradación más o menos progresiva del medio (PAND, 2008):

- Condiciones climáticas semiáridas, sequías estacionales, lluvias intensas con elevada variabilidad interanual
- Suelos empobrecidos
- Relieve desigual y paisajes diversificados
- Disminución de la cubierta forestal a causa de repetidos incendios
- Crisis en la agricultura tradicional, con el consiguiente abandono de tierras y deterioro del suelo y de las estructuras de conservación del agua
- Explotación insostenible de los recursos hídricos que lleva a la contaminación química, salinización y agotamiento de los acuíferos
- Concentración de la actividad económica en las zonas costeras, en relación con el crecimiento urbano, la actividad industrial, el turismo y la agricultura de regadío.

En las Islas Canarias, aunque no se dispone aún de suficientes datos y observaciones directas sobre el alcance del proceso de desertificación, sí se conocen bastantes síntomas y respuestas de los ecosistemas canarios a los impactos de la acción humana, que permiten afirmar que la desertificación es un proceso que afecta a la totalidad del archipiélago canario. Algunas de las

manifestaciones más visibles se ponen en evidencia con los siguientes datos (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 1998; Rodríguez Rodríguez, 2002):

- Aproximadamente un 43% de la superficie insular (unas 320.000 hectáreas) sufre procesos graves de erosión hídrica y eólica de los suelos, constituyendo una de las primeras y más graves manifestaciones de la desertificación y que afecta incluso a zonas húmedas.
- En torno al 60% de la superficie ocupada por suelos agrícolas de regadío presenta problemas de salinización, principalmente debido al uso de aguas de mala calidad y al uso excesivo y poco racional de los fertilizantes. Por tanto, no es un proceso de degradación de suelos ligado a las condiciones climáticas, y afecta también a zonas húmedas de las islas, como ocurre en los valles de Aridane (La Palma) y Hermigua (La Gomera).
- Existe un progresivo deterioro de las características físicas de los suelos de las islas, como su elevada compactación, con la consiguiente disminución de su porosidad y la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua. Este proceso es particularmente grave en los suelos sobrepastoreados y en aquellos donde se ha incrementado notablemente el uso de herbicidas y se ha reducido el laboreo.
- Se ha producido una pérdida importante de masa forestal en las islas, que alcanza proporciones de aproximadamente un 70% de la superficie boscosa existente hace cuatro siglos. Entre las causas destacan las talas abusivas de zonas de monte y matorral (deforestación) y los incendios forestales, así como la desprotección de suelo (sin cultivo o barbecho) durante la época de lluvias en zonas agrícolas de secano de las medianías. Este proceso es uno de los más importantes como síntoma visual impactante de la desertificación, aunque en algunos casos se encuentra en retroceso (ganándose masa forestal) gracias a las políticas de reforestación y prevención de incendios llevadas a cabo por la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias y por los Cabildos Insulares, y también por la propia recuperación natural de la vegetación en algunas zonas.
- En algunos ecosistemas terrestres de las islas, se está produciendo una pérdida de biodiversidad alarmante, aunque existen algunos programas de recuperación y rescate genético de flora y fauna amenazada y de hábitats deteriorados, que tratan de frenar en parte este proceso.
- La degradación cualitativa y cuantitativa de los recursos hídricos es cada vez mayor, debido fundamentalmente a su explotación insostenible, que lleva a la contaminación química, salinización y agotamiento de los acuíferos.
- El creciente abandono de los sistemas agrícolas tradicionales (en torno a 100.000 hectáreas de suelos cultivados en los últimos 50 años) ha agravado más si cabe el proceso de desertificación, sobre todo teniendo en cuenta que se trataba de agrosistemas sostenibles y conservacionistas en cuanto a los recursos de suelo y agua. El abandono y deterioro de las estructuras de conservación del agua y de los suelos es cada vez mayor: paredes de terrazas, bancales, gavias, nateros, arenados, etc.
- Existe una pérdida cada vez mayor del recurso suelo, derivado de la creciente presión demográfica en las islas, a menudo ligado a un uso inadecuado de los suelos, es decir,

utilización de los suelos para actividades no acordes con sus potencialidades y limitaciones, perdiéndose irreversiblemente tierras de elevado valor ambiental o de alta capacidad agrícola y fertilidad natural en la construcción de urbanizaciones, carreteras, aeropuertos, zonas recreativas, etc.

I.2.2. El Calentamiento Global

El incremento en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero es uno de los principales problemas ambientales que preocupan a la sociedad en la actualidad, siendo la principal causa del Calentamiento Global (Lal *et al.*, 1995a,b; Etheridge *et al.*, 1996; Houghton *et al.*, 1996; IPCC, 1996; Rosenzweig & Hillel, 1998; Halman & Steinbeg, 1999; Harvey & Danney, 2000; Lal, 2001; Karl & Trenberth, 2003).

De acuerdo con la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático** (UNFCCC- *United Nations Framework Convention on Climate Change*) éste es un “*cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables*”.

El efecto invernadero se basa en la propiedad de algunos gases atmosféricos de permitir el paso de la radiación de onda corta procedente del Sol y en absorber la radiación infrarroja (en algunas longitudes de onda) que emite la Tierra. Una parte de la radiación absorbida por estos gases y por las nubes es emitida de nuevo hacia la superficie terrestre, resultando en un calentamiento de la capa más baja de la atmósfera (Balairón, 2000).

Entre los gases de efecto invernadero se encuentran fundamentalmente el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆) (IPCC, 1996). Sin embargo, es el CO₂ el que contribuye en mayor medida al calentamiento global (50-60%) (Lal, 1998b; Balairón, 2000; IPCC, 2007; Martínez & Greenpeace, 2009) que los modelos climáticos predicen para los próximos años. Le siguen el CH₄ con un 18%, los CFCs con un 14%, el N₂O con un 6% y el 13% restante de otros gases de menor importancia (IPCC, 1996; Balairón, 2000).

Hasta el comienzo de la Revolución Industrial la concentración de CO₂ en la atmósfera fue prácticamente constante, siendo las principales emisiones debidas a la descomposición de los restos vegetales y a la liberación del gas por parte de los océanos, mientras que los principales sumideros eran los propios océanos y la absorción por la vegetación. El incremento de las actividades humanas dio como resultado la utilización y liberación a la atmósfera en forma de CO₂ del carbono almacenado como combustibles fósiles, biomasa y materia orgánica del suelo, a una velocidad muy superior a la absorción por la vegetación y los océanos (Etheridge *et al.*, 1996; Edmons, 1999; Lal, 2001). Se sabe que los ecosistemas terrestres y marinos han absorbido en torno a un 60% de estas emisiones actuando como sumideros de carbono, permaneciendo el 40% restante en la atmósfera (FAO, 2004). El resultado es que la concentración de CO₂ atmosférico ha aumentado en torno a un 35% en los últimos 200 años

(Lal, 2001, 2004), pasando de 280 ppm en 1850 (era preindustrial) a unas 379 ppm en 2005 (IPCC, 2007), una cifra superior a cualquier otra época de los últimos 650.000 años según EPICA (2004) e incluso de los últimos 800.000 años según Luthi *et al.* (2008).

Según las estimaciones realizadas por los expertos dicha concentración sigue aumentando a una tasa aproximada del 0,5% anual (1-2 ppm) (Etheridge *et al.*, 1996; Lal, 2001; IPCC, 2007; Martínez & Greenpeace, 2009). Así, si este ritmo continúa se prevé que la concentración de CO₂ llegue a ser del orden de 600 ppm en el año 2100, 1.300 ppm en el 2200 y 1.800 ppm en el 2400 (Harvey & Danney, 2000), lo que provocaría cambios drásticos en el clima a nivel mundial, con importantes variaciones en las temperaturas y los regímenes de lluvia (Rosenzweig & Hillel, 1998).

El problema del cambio climático se hizo evidente a ojos de la comunidad científica como resultado de la observación de la evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Desde entonces se comenzó a tomar conciencia de la magnitud mundial del problema, realizándose numerosos estudios sobre el tema. En este sentido, destaca la labor realizada por la **Organización de las Naciones Unidas**, promoviendo y subvencionando eventos de carácter internacional y recopilando la información existente a lo largo de los años, resultado del trabajo de numerosos científicos y expertos. Entre las primeras Convenciones destacan especialmente la **Conferencia sobre Medioambiente de Estocolmo** en 1972 y la **Primera Conferencia Mundial sobre el Clima** en 1979, donde por primera vez se consideró internacionalmente el cambio climático como un problema grave.

Durante la década de los 80 se vivió una notable intensificación de las cuestiones ambientales. Otro fenómeno de alcance atmosférico global, el agotamiento de la capa de ozono, creó un precedente importante al quedar regulado internacionalmente por el *Convenio de Viena* de 1985 y el *Protocolo de Montreal* de 1987. En esta última parte de la década la atención internacional se concentró en el Cambio Climático, con importantes Conferencias como las de Toronto en 1988, la Haya y Noordwijk en 1989 y Bergen en 1990. En Toronto se anunció por vez primera el objetivo político de reducción de emisiones de CO₂, que se cifraba en un 20% en el año 2005.

Todas estas reuniones, durante los años 70 y 80, de carácter tanto científico como político, fueron poco a poco preparando el terreno para la creación de una Convención intergubernamental que asumiera la existencia de un riesgo de cambio climático inducido fundamentalmente por la actividad del hombre. De este modo, en noviembre de 1988, la **Organización Meteorológica Mundial** (OMM) y el **Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente** (PNUMA) crearon un **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** (IPCC: *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Se constituía así un organismo encargado de evaluar periódicamente todo lo referido al Cambio Climático Global, incluyendo aspectos tanto científicos como socioeconómicos.

Desde entonces, el IPCC ha elaborado numerosos Informes de Evaluación sobre las causas del cambio climático, sus efectos potenciales y opciones en cuanto a estrategias de respuesta. Asimismo, ha elaborado Informes Especiales, Documentos Técnicos, Metodologías y Directrices, convirtiéndose estas publicaciones en referencia de uso habitual ampliamente utilizadas por los responsables en la toma de decisiones políticas. Uno de los más recientes es el

Cuarto Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), que pone en evidencia tanto el aumento a nivel mundial de las emisiones de gases de efecto invernadero (70% para el período 1970-2004), como el consiguiente incremento de la temperatura media mundial en 0,76°C, respecto a la época preindustrial (IPCC, 2007). El IPCC también ha desarrollado los conocidos como “escenarios” de emisiones a largo plazo. Estos son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, constituyendo un instrumento muy adecuado para realizar análisis del cambio climático, la creación de modelos climáticos, evaluación de los impactos, etc.

Según los modelos acoplados atmósfera-océano-vegetación, elaborados por el IPCC, el aumento de la temperatura media puede provocar en promedio una migración de unos 100 km de la vegetación hacia el Norte y, con ello, la extensión de las zonas áridas. De este modo se produciría un desfase de la flora, la fauna y los cultivos, los cuales sobrevivirían con dificultades en sus áreas actuales pero con regímenes climáticos distintos. Así, aparecerían nuevas estructuras ecosistémicas como consecuencia de las alteraciones en la distribución y abundancia de especies. Se estima que durante los próximos 40 ó 50 años se registrará un incremento de las temperaturas y del albedo, principalmente en las regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas mediterráneas, así como una significativa disminución de las precipitaciones y acentuación de la aridez y las sequías, que pueden incrementar la fragilidad de los geosistemas (López, 2001).

La **Segunda Conferencia Mundial sobre el Clima**, celebrada en Ginebra en noviembre de 1990, significó la confirmación política de la necesidad de abordar seriamente el problema climático. Así, se adoptó finalmente el *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (UNFCCC: *United Nations Framework Convention on Climate Change*), que fue suscrito por 155 países en la llamada “Cumbre de la Tierra”, la Conferencia de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas de Río de Janeiro de 1992, entrando en vigor a principios de 1994. El objetivo principal del *Convenio Marco* fue el de promover la negociación entre los distintos países para alcanzar medidas de limitación de emisiones de gases de efecto invernadero. De este modo, en la actualidad, los dos elementos esenciales de la respuesta mundial al problema del cambio climático lo constituyen la **Convención Marco sobre Cambio Climático** y el **Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático** (IPCC).

La Convención Marco sobre Cambio Climático celebra periódicamente las conocidas como *Conferencias de las Partes*. De la primera de ellas, celebrada en 1995 en Berlín, resultó el llamado “*Mandato de Berlín*” y la constitución del grupo especial de trabajo AGBM (*Ad Hoc Group on the Berlin Mandate*). Este grupo fue el responsable de la negociación del **Protocolo de Kyoto**, adoptado en la Tercera Conferencia de las Partes, celebrada en esta ciudad japonesa en 1997. El Protocolo de Kyoto fue firmado por un total de 38 países desarrollados, más la Comunidad Europea, los cuales se comprometieron a reducir la emisión de seis de los gases o familias de gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Además, se establecieron unos objetivos concretos de reducción o de limitación de las emisiones para cada país, siendo, en el caso de España, fijados en un crecimiento máximo de las emisiones de un 15% para el período 1990-2012.

Otro hito importante fue la aprobación del *Programa de trabajo quinquenal sobre los aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de los efectos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático*, durante la Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre Cambio Climático celebrada en Montreal (Canadá) en 2005. El objetivo general de este Programa es el de fortalecer la capacidad de adaptación al cambio climático de todas las Partes.

El artículo 4.1(b) de la Convención Marco sobre Cambio Climático establece al respecto que *las Partes deberán formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan (...) medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático*. En este sentido, en España fue aprobado en julio de 2006 el **Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático** por la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático y el Consejo Nacional del Clima. La Oficina Española de Cambio Climático (OECC), en su papel de coordinadora de dicho *Plan Nacional*, ejerce las funciones de seguimiento de la Convención Marco de Cambio Climático así como las del impulso de las políticas y medidas para su correcta aplicación en España. El *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* constituye en la actualidad un marco de referencia para la coordinación entre las Administraciones Públicas en las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España.

1.2.3. El Cambio Climático en Canarias

Según la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático, encargada por la Oficina Española del Cambio Climático (OECC) a un equipo de investigación coordinado por la Universidad de Castilla-La Mancha (Moreno, 2005), para las Islas Canarias se prevé un incremento de la temperatura de entre 2°C y 4°C en verano y entre 1°C y 2°C en invierno, con pocas variaciones en las precipitaciones de invierno y un ligero descenso en las del verano. Este informe sugiere además que el Cambio Climático afectará a la Desertificación, acelerando la pérdida de biodiversidad, la pérdida de calidad y cantidad de recursos hídricos y la degradación de los recursos edáficos.

En cuanto a los **recursos hídricos** las zonas áridas y semiáridas son las más sensibles a verse afectadas por la disminución de las disponibilidades hídricas a causa del cambio climático. Esto supondrá un aumento de la demanda de agua por los ecosistemas terrestres y por agrosistemas de regadío, así como una disminución de la calidad del agua por descenso del nivel freático en los acuíferos, que en zonas costeras puede facilitar la intrusión marina, hecho agravado por el incremento del nivel del mar. También es presumible que se acentúen las situaciones extremas de avenidas y sequías.

En lo que se refiere a la **diversidad biológica** hay que considerar que el Cambio Climático tendrá un impacto previsiblemente mayor sobre la diversidad biológica de los ecosistemas insulares, que sobre sus homólogos continentales. Se prevén numerosas migraciones altitudinales y latitudinales de especies, favoreciéndose la expansión de la vegetación xerofítica del ecosistema costero, sobre todo de sus componentes más dinámicos (matorrales áridos nitrófilos y de tabaiba amarga, pastizales áridos de gramíneas vivaces, etc.) y la desaparición de los bosquetes de sabinas, acebuches, almácigos y lentiscos, al tener pocas posibilidades de

desplazarse hacia cotas más favorables. Las especies de la laurisilva son relictos de climas menos áridos y su sensibilidad al Cambio Climático es, en principio, alta. Las últimas tendencias y predicciones sugieren que las nubes bajas incrementarán su frecuencia y se producirá un descenso y adelgazamiento del mar de nubes, lo que supondría una reducción del área ocupada por la laurisilva. Además, el descenso del mar de nubes favorecería la expansión de los pinares canarios y escobonales asociados. Se producirán asimismo impactos negativos sobre la vegetación higrófila y de saladares, que tenderán a desaparecer. Existe, sin embargo, un alto grado de incertidumbre respecto a los impactos del Cambio Climático sobre la Biodiversidad en las islas, debido al desconocimiento sobre el acoplamiento en el tiempo de la biodiversidad con la temperatura y la precipitación, con los eventos extremos, con los usos del territorio, con la respuesta de las especies, con las variaciones mesoclimáticas (cruciales para la supervivencia de especies y comunidades en enclaves de refugio), etc.

En cuanto a los impactos del Cambio Climático sobre los **recursos de suelos**, los modelos predicen tendencias a nivel global, pero menos los cambios a nivel local o regional. En áreas subtropicales como Canarias se prevé un aumento de la aridez edáfica, no por disminución de la precipitación total, sino por un incremento de la evapotranspiración, un aumento en la irregularidad de las precipitaciones y una disminución de la capacidad de los suelos para retener agua, como consecuencia de su degradación. En principio se pueden producir modificaciones en los procesos edafogénicos, de manera que se verán afectados preferentemente algunos procesos cuyo dinamismo ocurre en periodos cortos de tiempo, lo cual tendrá profundas repercusiones sobre la ecología de los suelos, la hidrología, la susceptibilidad a los procesos de degradación físico-química que afectan al balance de nutrientes, la estructura, la erosión, la salinización, la infiltración, la compactación, el descenso del carbono orgánico, etc.

La **agricultura** también se verá previsiblemente afectada por el Cambio Climático. El aumento de las temperaturas podría incrementar las emisiones de CO₂ por mineralización de la materia orgánica del suelo, especialmente en sistemas agrícolas convencionales, con laboreo intensivo, aumentando aún más la degradación de los suelos y los recursos hídricos y poniendo en grave riesgo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

I.2.4. El secuestro de carbono en los suelos

El suelo constituye uno de los reservorios de carbono más importantes del planeta, acumulando a nivel global 2.500 Pg (2,5 billones de toneladas), frente a los 38.000 Pg acumulados en los océanos y los 5.000 Pg de C de la litosfera, incluidos los combustibles fósiles (Lal, 2004). En la atmósfera se acumulan 760 Pg y en los seres vivos 560 Pg, aunque estos números pueden variar según los diferentes autores (Post *et al.*, 1982; Eswaran *et al.*, 1993; Sombroek *et al.*, 1993; Scharpenseel & Pfeiffer, 1998; IPCC, 2000; Rustad *et al.*, 2000; Evans *et al.*, 2001, etc). Este almacenamiento de carbono en los suelos los convierte en uno de los más importantes sumideros de CO₂ existentes en el planeta. En la Figura I.1 pueden observarse los principales procesos que regulan los flujos de CO₂ en el Ciclo Global del Carbono.

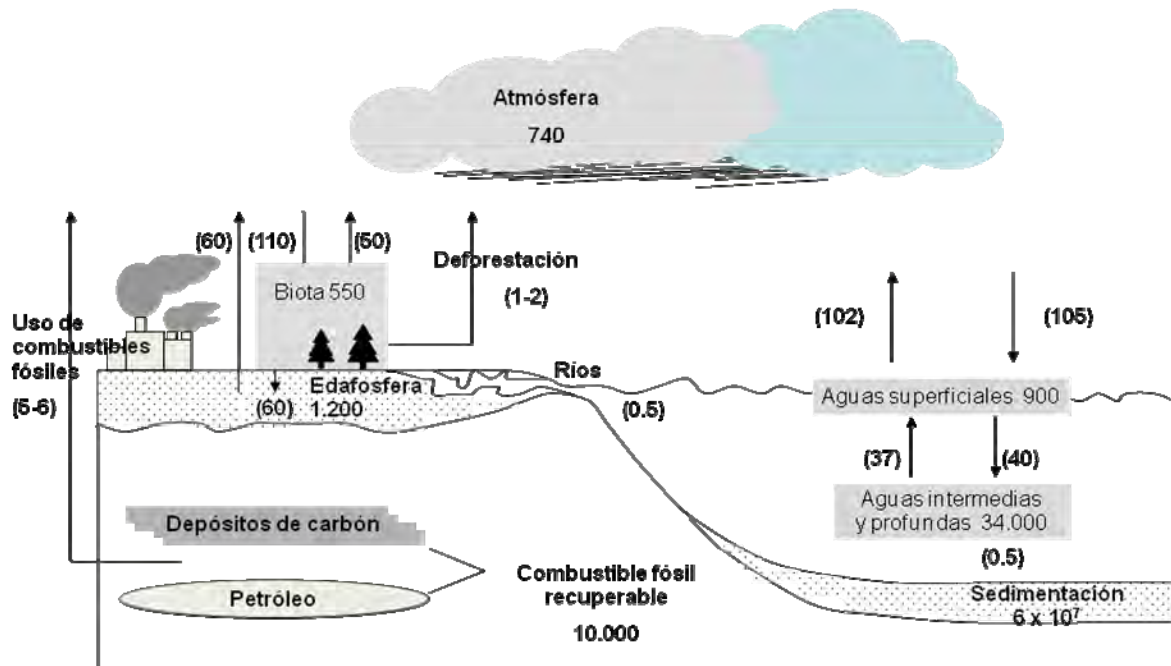


Figura I.1. Ciclo Global del Carbono

El concepto de fijación del CO_2 atmosférico en los diferentes sumideros del planeta (litosfera, biomasa, océanos, etc.) surgió en la década de los 90, como consecuencia del establecimiento en la Cumbre de Río de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNCED, 1992; UNFCCC, 1994) y alcanzó su máxima consideración cuando el Protocolo de Kyoto (Arts. 3.3 y 3.4) reconoció que las emisiones netas de gases de efecto invernadero, entre los que se encuentra el CO_2 , pueden reducirse, tanto disminuyendo la velocidad con la que estos gases se emiten a la atmósfera, como aumentando la velocidad a la que los mismos son eliminados de la atmósfera por los diferentes sumideros (FAO, 2001), entre los que se encuentra el suelo. Este papel del suelo como sumidero de CO_2 ha sido ampliamente reconocido en los últimos años, sometiéndose a un amplio debate, tanto en el Protocolo de Kyoto, como en las Conferencias de las Partes anuales, particularmente en Bonn (1999) y La Haya (2000) (Apps & Price, 1995; USDA, 1998; Batjes, 1999; Lal, 1999; Lal *et al.*, 1999; Rosenberg *et al.*, 1999; IPCC, 2000; Buñuel *et al.*, 2000, USDA, 2001, etc.). Unos de los primeros en relacionar el suelo con el Cambio Global fueron Arnold *et al.* (1990), aunque se centraron más en los efectos del cambio climático sobre el suelo que en la posible influencia del funcionamiento del suelo sobre los gases responsables del calentamiento global. Desde entonces se han escrito numerosos trabajos sobre el tema, de modo que en la actualidad existe una extensa bibliografía tratando el papel fundamental del suelo en el Ciclo Global del Carbono y en la regulación de los flujos de CO_2 en los ecosistemas terrestres (Schlesinger, 1995; Scharpenseel & Pfeiffer, 1998; Blum, 1998, 2002; Díaz, 2000; Pierzynski *et al.*, 2000; IPCC, 2000; etc.).

El carbono en el suelo puede aparecer como gases simples (CO_2 , CH_4), carbonatos inorgánicos, complejos organominerales, biomasa viva, etc. Las formas de carbono orgánico del suelo son una de las reservas más activas y que juegan un papel más destacado en el Ciclo Global del Carbono, interviniendo en numerosos procesos relacionados con el desarrollo y

crecimiento de las plantas así como de los organismos edáficos y los flujos e intercambios con la atmósfera.

La acumulación de carbono orgánico en el suelo se produce con la incorporación a éste de restos vegetales, tanto en forma de hojarasca como de raíces, los cuales, una vez depositados, sufren transformaciones gracias a la actividad de la biota edáfica, de manera que mediante procesos de mineralización (descomposición) y humificación (neoformación) el carbono entra a formar parte de la materia orgánica del suelo, quedando de alguna manera “secuestrado” en ella.

La tasa de ciclado del carbono del suelo varía de pocos días a miles de años (Trumbore, 1997; Stevenson & Cole, 1999). Es un proceso regulado por la actividad microbiana que depende de la calidad del material vegetal original (Meentemeyer, 1978, Melillo *et al.*, 1983; Stump & Binkley, 1992); del ambiente físico del suelo, incluyendo la temperatura (Rustad & Fernández, 1998); la distribución del tamaño de partículas y su mineralogía (Baldock *et al.*, 1992; Feller & Beare, 1997); el pH y la disponibilidad de oxígeno (Bunnell *et al.*, 1977); y la estabilidad de los agregados del suelo (Tisdall & Oades, 1982; Oades, 1984), entre otros.

Se han realizado ya numerosos estudios sobre la capacidad de secuestrar carbono o emitir CO₂ en diferentes tipos de suelos y de manejo de los mismos (Macías *et al.*, 2001; Adams, 2002; Johnson & Kern, 2002; Pontevedra-Pombal *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2002; Buurman *et al.*, 2004; Hontoria *et al.*, 2004; Macías, 2004; Monterroso *et al.*, 2004; Morisada *et al.*, 2004; Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2004b, etc.). Los más estudiados han sido sin duda los suelos agrícolas (Lal, 1998a,c, 2001; Schlesinger, 1999; Iglesias, 2000; Follett, 2001; Follett *et al.*, 2001), donde se ha comprobado que los mismos han perdido entre un 25 y un 75% de su reserva original de carbono. En los suelos con degradación severa la pérdida puede ser del orden del 70-80%. Se piensa que con la restauración y adopción de prácticas agrícolas adecuadas se podría secuestrar y recuperar entre el 60 y el 80% del carbono perdido de estos suelos.

Por otro lado, en zonas áridas y desertificadas los suelos presentan en general un bajo contenido en materia orgánica, de modo que su potencial para secuestrar carbono es aún muy alto, según numerosos autores (Squires, 1998; Iglesias, 2000; Follett *et al.*, 2001; Lal, 2002a,b, 2004, etc.), los cuales consideran estas zonas áridas como las más afectadas previsiblemente por el cambio climático, pero al mismo tiempo prometedoras en cuanto a su potencial para secuestrar carbono y mitigar el efecto invernadero. Se calcula que en estos suelos se localiza en torno a un 92% del stock global de carbono inorgánico (Eswaran *et al.*, 1995). Los principales aportes de carbono inorgánico a los suelos proceden de la deposición de polvo, de materiales parentales de naturaleza caliza, de las sales disueltas en el agua de riego y de las precipitaciones, y de la biosíntesis de carbonatos por plantas, algas y otros organismos (Wilding *et al.*, 2006).

Una cuestión importante a tener en cuenta a la hora de evaluar las capacidades de los diferentes suelos y ecosistemas para secuestrar CO₂, es la naturaleza de los compuestos orgánicos que constituyen la materia orgánica del suelo (MOS), considerándose habitualmente cuatro compartimentos o fracciones: **activa o lábil, lentamente oxidable, oxidable muy lentamente** y **pasiva o recalcitrante**, siendo esta última la más efectiva en cuanto a su funcionamiento como sumidero de CO₂ (Eswaran *et al.*, 1995; Fisher, 1995; Batjes, 1999; IPCC, 2000; Franks *et al.*, 2001; Khanna *et al.*, 2001; etc.). El carácter pasivo de este último tipo de compuestos orgánicos se puede deber, según la mayoría de los autores, a la formación de

complejos organominerales con la fracción coloidal inorgánica del suelo, formación de complejos organometálicos insolubles (con aluminio fundamentalmente) o a un "secuestro físico" por encapsulamiento en los macro y microagregados del suelo (Tate & Theng, 1980; Anderson, 1995; Kimble *et al.*, 1998; Lal, 2000; Macías *et al.*, 2001; Schulz *et al.*, 2002; etc.).

Las fracciones de carbono con un mayor grado de transformación (humificación) suelen encontrarse a menudo en los macroagregados (**fracción lentamente oxidable**) y en los microagregados del suelo (**fracción oxidable muy lentamente**). El mayor grado de humificación y su protección física dentro de los agregados hace que sean formas de carbono más difícilmente mineralizables, aunque no por ello dejan de ser sensibles a las perturbaciones del ecosistema.

Las **formas de carbono muy lentamente oxidables** y las **pasivas o recalitrantes** dominan en los suelos más evolucionados, como los *Oxisoles*, *Ultisoles* y *Spodosoles* (Soil Survey Staff, 2006). En estos suelos es frecuente la formación de microagregados con encapsulamiento de compuestos orgánicos, incluso aunque el nivel de complejidad de estos compuestos no sea muy elevado, dando lugar a fracciones difícilmente mineralizables. Dependiendo de su grado de humificación serán más o menos sensibles a las alteraciones del suelo por cambios de uso del terreno.

La **fracción activa o lábil** abunda especialmente en los horizontes superficiales de los suelos, donde además de ser la más fácilmente oxidable es la más sensible a perderse por procesos erosivos. La biomasa microbiana constituye una parte importante de esta fracción activa y lábil del suelo, siendo los compuestos orgánicos más comunes de la misma glúcidos, proteínas, péptidos, aminoácidos, grasas, ceras, poliésteres y ácidos orgánicos de bajo peso molecular (Porta *et al.*, 2003), en general todos ellos fácilmente biodegradables y de una vida media corta. Según van Veen *et al.* (1984) la biomasa microbiana incluye además una fracción protegida físicamente en el interior de algunos agregados del suelo. La importancia del estudio de la biomasa microbiana del suelo radica en su papel como precursor de las fracciones más estables de la materia orgánica del suelo (Christensen, 1996; McGill, 1996; Rice *et al.*, 1996). Por esta razón es importante no sólo su cuantificación en los distintos tipos de suelos, sino también el estudio de su actividad a través de la medida de diversas actividades metabólicas, como la tasa respiratoria y las actividades enzimáticas.

En la mayoría de los suelos existe además una disminución exponencial del carbono en profundidad, encontrándose las concentraciones más altas en los primeros 20-30 cm del suelo, donde se encuentra además la mayor parte del carbono lábil o activo. Sin embargo, existen también suelos con una marcada irregularidad en la distribución del carbono, como los *Fluvisoles*, consecuencia de su particular edafogénesis.

1.2.5. La incorporación del carbono a los suelos. La actividad biológica

La fracción vegetal susceptible de ser rápidamente incorporada al suelo (biomasa activa) está formada principalmente por hojas, ramas de tamaño variado, órganos reproductores y raíces. Esta biomasa activa supone sólo una pequeña parte del total de la biomasa de un ecosistema,

que se encuentra en su mayor parte formando parte de tejidos muertos, sobre todo en forma de tejidos de sostén, proporcionando soporte estructural y transportando agua y nutrientes. El estudio de la biomasa activa resulta de gran interés, por ser la fracción aportada al suelo a partir de la cual se formará la materia orgánica del suelo, mezclándose con la fracción mineral y dando lugar al humus (Terradas, 2001).

La biomasa vegetal muerta o necromasa se puede encontrar en diferentes grados de descomposición: necromasa en pie o madera muerta erguida, sobre o bajo el suelo en forma de raíces muertas y hojarasca o mantillo. La acumulación de hojarasca sobre la superficie de un suelo estará en función de las tasas de producción del ecosistema y de su descomposición. De este modo, el espesor de esta capa de hojarasca o mantillo puede ser muy variable dependiendo de la temperatura y de la disponibilidad hídrica del medio donde nos encontremos, que acelerarán o ralentizarán su descomposición (Fernández-Palacios & de los Santos, 1996).

Según Jenkinson & Rayner (1977), la hojarasca o mantillo se compone de dos fracciones principales: material vegetal de fácil descomposición y material vegetal resistente a la descomposición. Desde una perspectiva química se pueden considerar tres fracciones distintas dentro de la hojarasca y la materia orgánica del suelo: una fracción compuesta por materiales de fácil descomposición (solubles en agua, azúcares y proteínas), una segunda fracción formada por compuestos responsables del mantenimiento de la estructura de las paredes celulares vegetales (celulosa y hemicelulosa) y, por último, una reserva de materiales lignificados resistentes a la descomposición (Hansen *et al.*, 1991).

En el caso de las raíces, su dinámica es más compleja y difícil de estudiar (Gholz *et al.*, 1985; Aerts *et al.*, 1989; Vogt *et al.*, 1996), especialmente en el caso de las raíces más finas, dado su tamaño e íntima conexión con las partículas del suelo (Gholz *et al.*, 1985). Las raíces y las micorrizas aportan importantes cantidades de carbono al suelo, llegando incluso a superar el aporte de la parte aérea vegetal (Raich & Nadelhoffer, 1989; Hendrick & Pregitzer, 1993). Según Vogt *et al.* (1996) los aportes de raíces en suelos forestales de climas templados pueden incluso suponer de un 20-50% del total de aporte de carbono.

De este modo, podemos afirmar que la composición de los restos vegetales que se incorporan al suelo en forma de hojarasca y raíces, así como su aporte total y tasa de descomposición, son factores que determinarán la capacidad de secuestro de carbono de los suelos.

Estos restos vegetales, una vez depositados, sufren transformaciones gracias a la actividad de la biota del suelo. Inicialmente, es la macrofauna (colémbolos, isópodos, moluscos, etc.) la encargada de acelerar la descomposición de la materia orgánica (Coyne, 2000; Hättenschwiler *et al.*, 2005). Ésta muele y macera la hojarasca aumentando la superficie de contacto e incrementando con ello sus posibilidades de descomposición, volviéndose de esta manera más propensa al ataque microbiano. Mediante la descomposición de la hojarasca se produce el reciclado de nutrientes en el ecosistema, proceso fundamental para el funcionamiento del mismo y que afecta a la disponibilidad de nutrientes y al desarrollo vegetal, entre otros (Swift *et al.* 1979; Cadish & Giller, 1997; Wardle, 2002; Bardgett, 2005).

Los **microorganismos** del suelo son los principales agentes descomponedores de la materia orgánica, capaces de degradar moléculas complejas como la celulosa, la hemicelulosa, las

pectinas, el almidón y la lignina, siendo los hongos y las bacterias los más importantes en este aspecto y los que forman el grueso de la biomasa microbiana (Coyne, 2000; Bardgett, 2005; Hättenschwiler *et al.*, 2005).

La **respiración** del suelo es un proceso que refleja la actividad global de la biota del suelo y de las raíces de las plantas. La medida de la respiración microbiana en concreto, resulta muy útil en estudios de mineralización y estabilización de la materia orgánica, para el estudio de la influencia de los factores climáticos y el uso del suelo sobre la actividad biológica, etc. Debido al metabolismo de la biota del suelo se produce la mineralización de diversos compuestos orgánicos, donde una parte del carbono es liberado a la atmósfera en forma de CO₂ (carbono mineralizable), mientras que otra es usada para la síntesis de otros compuestos o almacenada en el interior de los microorganismos (Hernández & García, 2003).

Por otro lado, el estudio de las **enzimas** resulta de gran interés, puesto que son las encargadas de catalizar las reacciones bioquímicas que llevan a la descomposición y/o transformación de los restos vegetales, determinando en gran medida la pauta de las transformaciones químicas que se producen en el suelo (Burns, 1978; Stryer, 1995; Dick *et al.*, 1996, García & Hernández, 2003). La mayor parte de las enzimas del suelo son de origen microbiano (Tabatabai, 1994), aunque una pequeña parte proviene de restos vegetales y animales. Pueden encontrarse en el interior de células vivas (activas o inactivas), estar ligadas a la pared celular, unidas a células muertas o bien pueden ser extracelulares. Las enzimas extracelulares de vida libre son en general de vida corta, encontrándose más bien asociadas a constituyentes celulares, sustratos minerales (arcillas) u orgánicos (sustancias húmicas) o complejos organominerales, siendo de esta manera muy resistentes a procesos de desnaturalización y la forma más común de encontrarlas en el suelo. Las enzimas extracelulares suelen ser excretadas al ambiente por los microorganismos para facilitar la descomposición de polímeros grandes en subunidades más manejables para su adsorción.

I.2.6. Técnicas de separación de los componentes orgánicos del suelo

Existen numerosas técnicas de separación de fracciones de carbono de importancia biológica en el suelo. Así, podemos distinguir entre técnicas de fraccionamiento físico, químico y biológico, estudios de mineralización de la materia orgánica, datación de carbono (carbono 14, isótopos estables, etc.) y técnicas analíticas instrumentales (resonancia magnética nuclear, técnicas pirolíticas, espectroscopía derivatográfica -visible e infrarroja- etc.) (Evans *et al.*, 2001).

El **fraccionamiento físico** de la materia orgánica aporta información sobre su propia estructura, determinando el grado de procesamiento biológico, su protección física en el interior de macro y microagregados y el grado de complejación organomineral (Ellert & Gregorich, 1995). Se piensa que la oclusión física dificulta el acceso a las enzimas y a los microorganismos, disminuyendo la tasa de ciclado del carbono (Evans *et al.*, 2001). Algunas de las técnicas de separación más utilizadas son: la separación por densidades, el análisis del carbono particulado (ligado a las diferentes fracciones estructurales -macro y microagregados-) y del carbono ligado a las diferentes fracciones granulométricas (arenas, limos y arcillas) (Evans *et al.*, 2001).

El **fraccionamiento químico** incluye numerosas técnicas de separación de diferentes tipos de compuestos, desde los más lábiles, como la determinación de materia orgánica disuelta (carbono soluble en agua, carbono disuelto en extracto saturado de suelo...) y carbohidratos; pasando por el fraccionamiento clásico, basado en la solubilidad de la materia orgánica en soluciones ácidas y alcalinas y que clasifica a la misma en ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas (Sposito, 1989; Stevenson, 1982); extracciones secuenciales de distintas formas de carbono orgánico, según su solubilidad en diferentes tipos de compuestos o soluciones químicas y que incluyen desde la extracción de restos vegetales apenas transformados (ceras, ácidos grasos, etc.) hasta complejos organominerales (Schnitzer & Schuppli, 1989; Evans *et al.*, 2001); métodos de oxidación, principalmente el de Walkley-Black (1934), que mide el carbono orgánico oxidable total del suelo; y otros como los fluidos supercríticos, empleados para extraer compuestos orgánicos específicos de mezclas complejas (Schnitzer & Preston, 1987; Schnitzer *et al.*, 1991; Shulten & Schnitzer, 1991; Sánchez & Ruark, 1995). El avance en las técnicas analíticas de las últimas décadas ha permitido además la caracterización de mezclas de sustancias orgánicas complejas, suministrando una información muy valiosa de las tasas de ciclado del carbono del suelo y de las transformaciones de la materia orgánica durante los procesos de descomposición y de humificación. Entre estas técnicas destacan las degradaciones térmicas (pirólisis), los análisis espectroscópicos (RMN, FTIR) y los análisis cromatográficos (GC-MS) (Evans *et al.*, 2001).

Los métodos de **fraccionamiento biológico** se basan principalmente en el estudio de la biomasa microbiana, que a pesar de constituir una fracción muy pequeña y con un tiempo de ciclado muy bajo (1-2 años), representa un componente vital del ciclo del carbono (Hu *et al.*, 1997), al ser la responsable principal de la transformación y reciclaje de la materia orgánica del suelo.

Los estudios sobre **mineralización** de la materia orgánica del suelo, es decir, la conversión de formas orgánicas a inorgánicas (Paul & Clark, 1989), se basan en medir por diferentes métodos la actividad metabólica microbiana. Unos consisten en determinar la liberación de CO₂ por parte de los microorganismos (Zibilske, 1994), y se utiliza para conocer la biodisponibilidad del carbono en los suelos (Evans *et al.*, 2001). El CO₂ emitido se cuantifica generalmente por absorción en álcali o por valoración directa (cromatografía sólido-gas o analizador de infrarrojos) (Evans *et al.*, 2001). Las emisiones de CO₂ del suelo se pueden medir en condiciones de campo o bien por medio de incubaciones en el laboratorio controlando la temperatura y la humedad (Zibilske, 1994). Otro modo de medir la actividad metabólica de los microorganismos es mediante la estimación de su capacidad para mineralizar los compuestos orgánicos de nitrógeno (Drinkwater *et al.*, 1996). La mineralización comprende dos fases: la primera es la amonificación, es decir, el paso de formas orgánicas a formas amoniacaes, y la segunda es la nitrificación, que es la conversión de formas amoniacaes en formas nítricas. La extracción del nitrógeno inorgánico del suelo se realiza sobre las muestras al inicio y al final de un proceso de incubación en condiciones controladas de temperatura y humedad.

1.3. OBJETIVOS

El incremento del contenido de materia orgánica de los suelos es un factor clave en la lucha contra la desertificación, particularmente en las zonas áridas con un bajo contenido de carbono orgánico y presumiblemente aún con alta capacidad para almacenar carbono. Para ello es necesario adquirir un conocimiento preciso de la dinámica de la materia orgánica en estos suelos y de su papel en el Ciclo Global del Carbono a escala insular.

Las Islas Canarias, como hemos señalado anteriormente, constituyen una región con un alto riesgo de desertificación y donde los modelos de cambio climático predicen modificaciones drásticas y negativas en el funcionamiento del suelo y los ecosistemas. Los procesos de degradación de los suelos que afectan a las Islas (principalmente erosión hídrica y eólica y salinización-sodificación) han llevado a un considerable deterioro de las propiedades físicas y biológicas de los mismos, resultando en importantes pérdidas de materia orgánica y originando un déficit claro de materia orgánica en los suelos, que podrían estar funcionando en su mayoría como emisores netos de CO₂ en lugar de como sumideros.

Sin embargo, no se ha realizado hasta el momento ningún estudio encaminado a conocer las reservas de materia orgánica en los suelos canarios, o su comportamiento como emisores o sumideros netos de CO₂, ni siquiera la naturaleza de los complejos organominerales que se forman con los minerales de ordenación de corto alcance, característicos de los suelos de origen volcánico y que han sido reconocidos en otros lugares como altamente eficientes en cuanto al secuestro de CO₂.

Los ecosistemas forestales constituyen un marco idóneo donde medir los flujos de carbono entre los diferentes compartimentos del ecosistema y también para establecer los mecanismos de estabilización de la materia orgánica, la naturaleza de sus enlaces con la fracción mineral y el papel de éstos en la dinámica estructural del suelo y en su funcionamiento hídrico y resistencia a los procesos erosivos.

El conocimiento en profundidad de la dinámica de la materia orgánica en los suelos de origen volcánico y los mecanismos de secuestro físico y químico del CO₂ atmosférico en la misma, facilitaría evaluar su capacidad para generar fracciones de carbono estable y, por tanto, de funcionar como sumideros de CO₂. De este modo, los conocimientos adquiridos podrían utilizarse en el control de la desertificación del territorio canario, mediante la identificación de las zonas que previsiblemente podrían verse más afectadas por el calentamiento global y los cambios de uso del territorio.

De acuerdo a lo expuesto, planteamos esta Tesis Doctoral con los siguientes objetivos globales:

- Conocer la cantidad de carbono acumulado en los suelos, la biomasa (fitomasa aérea y subterránea) y la necromasa (hojarasca) de los principales ecosistemas canarios, particularmente aquellos de zonas áridas y los forestales.
- Evaluar el comportamiento de los suelos canarios como sumideros o emisores de CO₂, realizando balances de las entradas y salidas de carbono del suelo.

- Contribuir a un mejor conocimiento de la dinámica de la materia orgánica, mediante el estudio de los flujos de carbono entre los distintos compartimentos del ecosistema (biomasa, necromasa y suelo), y de la actividad biológica y la bioquímica del carbono en los horizontes superficiales del suelo.
- Establecer cuáles son los mecanismos de estabilización de la materia orgánica en el suelo a través del secuestro físico-químico del CO₂ atmosférico.
- Conocer qué tipo de compuestos de carbono se forman por el secuestro de carbono en estos suelos y su grado de estabilidad biogeoquímica.
- Obtener resultados de orden aplicado, que ayuden en la gestión de los ecosistemas y los suelos de las islas, con vistas a favorecer el secuestro de CO₂ y el incremento de materia orgánica.

Consideramos estos objetivos de un alto interés en el contexto actual en que el cambio climático, y particularmente sus repercusiones en los ecosistemas insulares, constituyen motivo de preocupación no sólo en los ambientes científicos, sino también políticos y en la sociedad en general.

I.4. ÁREA DE ESTUDIO

I.4.1. Características generales de las Islas Canarias

El Archipiélago Canario se localiza en el sector oriental del Atlántico Norte, entre los 27° y 29° de latitud Norte y los 14° y 18° de longitud Oeste. Está constituido por siete islas mayores (de Este a Oeste: Lanzarote, Fuerteventura, Gran Canaria, Tenerife, La Gomera, La Palma y El Hierro), cuatro islas menores (Alegranza, Montaña Clara, La Graciosa y Lobos) y numerosos roques. El Archipiélago se encuentra, en su extremo oriental, a una distancia de poco más de 100 km del continente africano. Su superficie total es de 7.447 km², con importantes diferencias entre islas, no sólo en cuanto al área, sino también con respecto a la altitud, distancia al continente y edad (Tabla I.1).

Las Islas Canarias tienen su origen en la acción de una intensa actividad volcánica que se remonta a casi 20 millones de años y que persiste hasta nuestros días. La Gomera es la única isla del archipiélago donde no ha habido actividad volcánica reciente, datándose su última erupción volcánica en aproximadamente 2,5 millones de años. En el resto del archipiélago se han producido numerosas erupciones históricas, concentradas en La Palma, Tenerife y Lanzarote (García-Talavera, 1999; Villalba & Santana, 2000).

Los materiales que conforman el medio físico de las islas son la consecuencia de la continua interacción de dos procesos antagónicos: procesos geológicos constructivos (vulcanismo), en general con un efecto suavizante del relieve; y procesos destructivos (erosión), que suelen originar topografías muy abruptas. Los materiales geológicos del archipiélago son en su casi totalidad de tipo volcánico, dominando los basaltos, aunque también abundan las fonolitas y los traquibasaltos. La conjunción del relieve volcánico y el modelado erosivo en las diferentes islas

se traduce en la existencia de islas envejecidas y de orografía abrupta (Gran Canaria y La Gomera) frente a islas más rejuvenecidas y con relieves menos acusados (Lanzarote).

| Tabla I.1: Principales características geográficas de las Islas Canarias | | | | |
|--|-------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------|
| ISLA | ÁREA (km ²) | ALTITUD (metros) | DISTANCIA al continente (km) | EDAD (millones de años) |
| Tenerife | 2.034 | 3.718 | 284 | 11,9 |
| Fuerteventura | 1.655 | 807 | 95 | 20,5 |
| Gran Canaria | 1.560 | 1.948 | 196 | 14,5 |
| Lanzarote | 807 | 670 | 125 | 15,5 |
| La Palma | 708 | 2.426 | 416 | 1,5 |
| La Gomera | 370 | 1.487 | 333 | 12 |
| El Hierro | 269 | 1.501 | 383 | 0,8 |
| La Graciosa | 27,5 | 266 | 151 | 0,04 |
| Aleganza | 10,2 | 289 | 168 | 0,03 |
| Lobos | 4,4 | 122 | 123 | <0,05 |
| Mña. Clara | 1,3 | 256 | 159 | 0,04 |
| TOTAL | 7.447 | 3.718 | 95 | 20,5 |

Fuente: Fernández-Palacios, 1999

Además, las islas se caracterizan por presentar una alta variabilidad climática derivada del contraste en sus condiciones geográficas (orografía, distancia al continente), de su localización oceánica, de la incidencia regular de los vientos alisios y ocasionales de vientos saharianos, y de la presencia de una corriente oceánica fría. La transición entre los alisios de componente nordeste y noroeste produce una inversión térmica que restringe verticalmente el sistema nuboso por encima de los 1.400-2.000 m de altitud en las fachadas septentrionales. Estas singulares condiciones geográficas han propiciado la existencia de una gran variabilidad climática en las islas, dando lugar a un número importante de mesoclimas diferentes en el Archipiélago y que se refleja en la variación de parámetros climáticos como la temperatura, la precipitación, la humedad relativa o la insolación (Fernández-Palacios, 1999; García-Talavera, 1999; Fernández-Palacios & Martín, 2001).

I.4.2. Los ecosistemas naturales de las Islas Canarias

La vegetación se distribuye en las Islas en la forma de ecosistemas zonales: **matorral costero**, **bosques termoesclerófilos**, **monteverde**, **pinar canario** y **matorral de cumbre**, que se suceden siguiendo un gradiente climático altitudinal. Atendiendo a la fisonomía de sus comunidades características, estos ecosistemas zonales se pueden subdividir en dos grandes categorías: arbustivos y arbóreos. Los ecosistemas arbóreos se localizan en las zonas de medianías de las islas de mayor altitud, donde se dan las condiciones óptimas de temperatura y disponibilidad hídrica a lo largo del año. Se incluyen en esta categoría el monteverde, localizado en la zona de incidencia directa de los vientos alisios húmedos en la fachada norte de las islas, el pinar canario y los bosques termoesclerófilos, estos últimos localizados por encima y debajo del monteverde respectivamente. A medida que nos alejamos de estas formaciones hacia la costa o la cumbre, el creciente estrés hídrico y térmico dificulta el desarrollo de una vegetación de porte

arbóreo, apareciendo las formaciones de matorrales costero (*tabaibal-cardonal*) y de cumbre (*retamar-codesar*) (Fernández-Palacios, 1999).

Al margen de esta secuencia altitudinal, la existencia de factores locales como la proximidad al mar, tipo de suelo, presencia de aguas superficiales, topografías abruptas, etc., generan una diversidad de ambientes particulares, en los que se desarrollan ecosistemas que podemos considerar como *azonales*. En última instancia se encuentran los *ecosistemas antrópicos*, cuyos procesos están directamente controlados por la actividad humana.

I.4.2.1. El matorral costero

El matorral costero se encuentra presente en todas las islas e isletas, extendiéndose desde el nivel del mar hasta aproximadamente 300-400 m en las fachadas de barlovento y unos 800 m en las meridionales, de sotavento. El bioclima se describe como infra-termomediterráneo desértico-xerofítico hiperárido-árido-semiárido inferior (Rodríguez Delgado *et al.*, 1997; Rodríguez Delgado, 2000; del Arco *et al.*, 2006). Esta formación vegetal se caracteriza por soportar un estrés hídrico intenso, con precipitaciones inferiores a 250 mm al año, temperatura media anual superior a 18°C y una alta insolación (González *et al.*, 1986; Aguilera Klink *et al.*, 1994; Fernández-Palacios, 1999; Rodríguez Delgado, 2000). Como resultado, el suelo experimenta un déficit de agua durante la mayor parte del año, que obliga a las especies costeras a adoptar estrategias de resistencia tales como la succulencia (contenido hídrico superior al 95%). Los valores típicos de biomasa del ecosistema son bajos, derivados de su porte arbustivo y carácter succulento (González *et al.*, 1986; Aguilera Klink *et al.*, 1994; Fernández-Palacios & de los Santos, 1996). En cambio, la riqueza en especies es relativamente elevada.

La comunidad vegetal característica es el *tabaibal-cardonal*, dominado por especies del género *Euphorbia* (*E. canariensis*, *E. balsamifera*, *E. lamarckii*, *E. regis-jubae*, entre otras) acompañadas de otras como *Kleinia neriifolia* o *Plocama pendula*. En localidades con un mayor grado de antropización aparecen en su lugar comunidades de matorral dominadas por especies como la ahulaga (*Launaea arborescens*), el incienso (*Artemisia thuscula*), la vinagrera (*Rumex lunaria*), las magarzas (*Argyranthemum* spp.), y exóticas como las tuneras (*Opuntia* spp.) y piteras (*Agave* spp.) (Fernández-Palacios, 1999).

Los suelos asociados a esta formación se caracterizan por tener una baja fertilidad natural, relacionada con un contenido escaso de materia orgánica. En general son suelos arcillosos, de elevada densidad, alcalinos y a menudo salino-sódicos. Tienen una baja capacidad de infiltración, una alta erodibilidad y su coloración es pardo-rojiza o gris oscura (Fernández Caldas *et al.*, 1978, 1982; Aguilera Klink *et al.*, 1994; Rodríguez Rodríguez & Mora, 2000). En cuanto a su clasificación, se incluyen en 4 Órdenes de la Taxonomía Americana de Suelos (Soil Survey Staff, 2006): Aridisoles, Vertisoles, Entisoles y Andisoles, y hasta 13 Grupos de Referencia de la WRB: Cambisoles, Luvisoles, Calcisoles, Yipsisoles, Durisoles, Solonetz, Solonchaks, Vertisoles, Leptosoles, Arenosoles, Fluvisoles, Regosoles y Andosoles (ISSS-ISRIC-FAO, 2006). Entre los suelos más frecuentes se encuentran los suelos minerales brutos (Torriortents), suelos jóvenes con un escaso desarrollo (Haplocambids, Vitritorrands) y suelos caracterizados por la acumulación de sales (Calcids, Yipsids, Salids). Otros suelos típicos son

los Vertisoles (Torrerts), en posiciones de pie de vertiente, y los suelos con horizonte argílico (Argids), especialmente abundantes en las islas orientales.

El ecosistema del matorral costero se mantuvo relativamente bien conservado hasta finales del siglo XIX. Sin embargo, la posterior ocupación del territorio para el establecimiento de cultivos de regadío (fundamentalmente plataneras y tomateras) y, más tarde, el auge urbanístico, con la proliferación de infraestructuras turísticas, carreteras y polígonos industriales en los dominios de estas formaciones, han producido un grave deterioro de su estado de conservación y la pérdida de superficie ocupada, por la fuerte presión antrópica. (Pérez & Lucía, 2000).

I.4.2.2. Los bosques termoesclerófilos

El dominio potencial de esta formación se extiende a todas las islas, por encima del matorral costero en ambas vertientes, aproximadamente entre los 250-500 m.s.m. al norte, 400-800 m.s.m. al este y 600-1100 m.s.m. al sur. Las precipitaciones medias son del orden de 300-400 mm al año, las temperaturas suaves (17-20°C) y la insolación moderada. El bioclima se clasifica como infra-termomediterráneo xérico-semiárido superior. No constituyen una unidad florística homogénea, sino que se caracterizan por la dominancia local de una u otra especie arbórea; así tenemos la sabina (*Juniperus turbinata* ssp. *canariensis*), el almácigo (*Pistacia atlantica*), el acebuche (*Olea cerasiformis*), etc. (Fernández-Palacios & de los Santos, 1996; del Arco *et al.*, 2006).

Los suelos asociados a este ecosistema son en general más evolucionados, de mayor profundidad y fertilidad que los suelos característicos del matorral costero. Así, podemos encontrar Inceptisoles, Aridisoles, Alfisoles, Entisoles, Andisoles, Molisoles y Vertisoles (Soil Survey Staff, 2006) -Cambisoles, Luvisoles, Leptosoles, Fluvisoles, Regosoles, Andosoles, Phaeozems y Vertisoles (ISSS-ISRIC-FAO, 2006)-.

Los bosques termoesclerófilos constituyen el ecosistema arbóreo peor conservado en Canarias. Ello se debe a que las medianías en las que se desarrolla han sido desde antiguo el lugar preferido para el asentamiento humano. Los cultivos y el pastoreo, el aprovechamiento de las especies arbóreas como fuente de materias primas o simplemente como leña, y el establecimiento de núcleos urbanos, son la causa de que la representación actual de esta formación sea apenas un vestigio de la que fue su superficie original, sólo conservándose manifestaciones de cierta entidad en las islas de La Gomera y El Hierro (Pérez & Lucía, 2000).

I.4.2.3. El monteverde

Esta formación siempreverde umbrófila y termófila se localiza casi exclusivamente en zonas bajo la influencia del mar de nubes en las vertientes norte y este de las islas centrales y occidentales, entre 500-1.500 m.s.m. en el norte y 800-1.200 m.s.m. en el este. El clima de estas áreas muestra unas condiciones óptimas para la vegetación, que se desarrolla en ausencia de estrés térmico e hídrico. La temperatura media anual está comprendida entre 13-16 °C (Gandullo, 1991). La evapotranspiración potencial es del orden de 500-850 mm y la insolación

es baja (4-5 horas diarias). Las precipitaciones verticales rondan los 600-1.000 mm al año, con una humedad relativa próxima al 100%. Estos bosques cuentan además con un aporte hídrico adicional, la precipitación horizontal, cuya importancia es muy variable según la topografía (Fernández-Palacios & de los Santos, 1996; Fernández-Palacios, 1999). El bioclima se clasifica como infra-termo-mesomediterráneo pluviestacional seco-subhúmedo-húmedo (del Arco *et al.*, 2006).

Los bosques de monteverde o *laurisilva canaria* constituyen relictos de la flora que pobló la cuenca mediterránea y el norte de África a finales del Terciario (Mioceno-Plioceno), actualmente relegada a los archipiélagos macaronésicos (Canarias, Madeira y Azores). Su extensión actual en las islas está muy reducida, con un grado de conservación variable en función del nivel de explotación o de aislamiento al que ha estado sometida.

Las mejores reservas se encuentran en las islas de La Gomera (Parque Nacional de Garajonay), La Palma (Reserva de la Biosfera de los Tilos) y en los macizos de Anaga (Las Vueltas, El Pijaral, Monte Aguirre) y Teno (Monte del Agua) en Tenerife (González *et al.*, 1986). Existen distintos tipos de monteverde, que se pueden clasificar atendiendo a su topografía, características edáficas y bioclimáticas, composición florística y grado de conservación (Pérez *et al.*, 1990):

- **Laurisilva de valle:** localizada en el fondo de los barrancos, donde se condensa gran cantidad de humedad y prosperan las especies con mayores requerimientos hídricos del bosque. Los árboles aquí superan fácilmente los 25 m de altura, con troncos de más de 1m de diámetro. Las especies arbóreas más características son el viñátigo (*Persea indica*) y el laurel (*Laurus novocanariensis*), aunque en zonas muy húmedas, con requerimientos aún mayores de humedad y una regeneración más lenta, abunda también el til (*Ocotea foetens*). Entre las especies del sotobosque dominan los helechos como *Diplazium caudatum*, *Woodwardia radicans*, *Pteris incompleta*, *Asplenium onopteris* y *Pteridium aquilinum*, y algunos arbustos (*Hypericum* spp., *Viburnum rigidum*, *Urtica morifolia*, etc). Los cauces de los barrancos más aclarados aparecen ocupados por saucedas de sauce canario (*Salix canariensis*).
- **Laurisilva de ladera:** propia de situaciones edafotopográficas medias, por encima de la laurisilva de valle, en zonas que se encuentran bajo la influencia directa del mar de nubes durante la mayor parte del año y sólo en verano, al ser más delgado el estrato nuboso, quedan algo descubiertas durante parte del día. La altura media de los árboles es de 15-20 m. Las especies arbóreas más características son el laurel (*Laurus novocanariensis*), el acebiño (*Ilex canariensis*) y la faya (*Myrica faya*). En las zonas más abiertas y aclaradas del bosque son también habituales, entre otras, el palo blanco (*Picconia excelsa*), la hija (*Prunus lusitanica* ssp. *hixa*) y el barbusano (*Apollonias barbujana*). La presencia de grandes ejemplares de brezos arbóreos (*Erica arborea*) es indicativa de antiguas perturbaciones. La composición del sotobosque es similar a la que encontramos en la laurisilva de valle, con un mayor índice de epifitismo brioliquénico en las crestas con mayor influencia de nieblas. Es una de las formaciones de laurisilva más empobrecida, posiblemente debido a su explotación antrópica secular.

- **Fayal-brezal:** fase de degradación del monteverde en la que persisten las especies más resistentes como brezos, fayas, acebiños y laureles, desapareciendo otras más sensibles, debido fundamentalmente a perturbaciones antrópicas. En las zonas más degradadas o de borde del monteverde, el fayal-brezal pierde su porte arbóreo dando lugar a la aparición de **brezales arbustivos**.
- **Brezal de crestería:** formación similar a la anterior pero que constituye la vegetación natural propia en zonas de cresta muy venteadas, con incidencia directa de las nieblas durante la mayor parte del año, y más o menos expuestas a la insolación en verano en función de la influencia del mar de nubes, según la altitud. Las especies dominantes típicas son el brezo (*Erica arborea*) y el tejo (*Erica scoparia*). En general presenta un sotobosque de una gran riqueza y diversidad de helechos, así como un elevado grado de epifitismo liquénico y un estrato mucilaginoso muy desarrollado.

En la actualidad el bosque de monteverde ha sido desalojado de la mayor parte de su superficie original, ocupada por campos de cultivo y comunidades vegetales regresivas como zarzales, matorrales de leguminosas y herbazales. El dominio del monteverde ha sido también escenario de extensas plantaciones de especies forestales como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y el pino de Monterrey (*Pinus radiata*), aunque actualmente se tiende a su desalojo paulatino permitiendo la regeneración de las comunidades naturales.

Los suelos típicos del dominio del monteverde se incluyen en cinco Órdenes de la Taxonomía americana de suelos (Soil Survey Staff, 2006): Andisoles, Ultisoles, Alfisoles, Inceptisoles y Entisoles, y cinco Grupos de Referencia de la WRB: Andosoles, Luvisoles, Cambisoles, Umbrisoles y Leptosoles (ISSS-ISRIC-FAO, 2006). La mayoría presentan un régimen hídrico de tipo údico, es decir, que el suelo permanece húmedo la mayor parte del año, no secándose nunca más de 90 días consecutivos al año (Fernández-Caldas *et al.*, 1982; Monteverde, 2003). Presentan típicamente un régimen de temperaturas isomésico, con medias a 50 cm de profundidad de 8-15°C (Jiménez *et al.*, 2004, Tejedor *et al.*, 2004). Los Andisoles o Andosoles son los suelos más característicos, no sólo del monteverde sino de todo el Archipiélago, pese a ocupar una superficie modesta (286 km², 3,8% de la superficie del archipiélago) (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2001). Se localizan principalmente sobre materiales cuaternarios, por encima de los 800-900 m en la vertiente norte y por encima de 1000 m en la vertiente más meridional de las islas montañosas. Presentan una gran capacidad de acumulación de carbono orgánico, particularmente en sus horizontes superficiales húmicos de color oscuro, debida a la estabilización de la materia orgánica por minerales con ordenación de corto alcance (alófana, imogolita, ferrihidrita) y por la formación de complejos organometálicos, y a la protección física que le confieren los microagregados de elevada estabilidad característicos de estos suelos.

I.4.2.4. El pinar canario

Esta formación boscosa dominada por el pino canario (*Pinus canariensis*) se extiende por encima del matorral costero y de los bosques termófilos, entre (900) 1.500-2.000 m.s.m. en la

vertiente norte, (800) 1.200 m.s.m. en la fachada este y entre (800) 1.100-2.000 m.s.m. en la vertiente sur de las islas de Tenerife, La Palma, Gran Canaria, El Hierro y La Gomera (en orden decreciente de ocupación) (Rodríguez Delgado, 2000). Del total de superficie ocupada, en torno a un 77 % se corresponde con formaciones naturales, mientras que el restante 23 % lo forman repoblaciones de pinos (Blanco *et al.*, 1989).

En general los pinares se desarrollan en condiciones de cierto estrés hídrico y térmico. Las áreas de pinar muestran condiciones climáticas muy contrastadas, que van de áreas muy secas a sotavento, soportando tanto altas como bajas temperaturas (incluso heladas), con una media anual de 10-15°C, y precipitaciones muy variables, de escasas a abundantes, con valores medios entre 350 y 500 mm anuales (Rodríguez Delgado, 2000). La humedad relativa es muy variable, dependiendo de la zona y la época del año. Los valores medios de insolación están entre 6 y 8 horas diarias, y la evapotranspiración oscila entre 800-1.000 mm anuales (Fernández-Palacios, 1999). El bioclima de la zona es mesomediterráneo pluviestacional seco-subhúmedo inferior (del Arco *et al.*, 2006). Los contrastes climáticos permiten distinguir entre dos variantes del pinar bien distintas en términos de biomasa, composición de especies y dinámica del ecosistema: **pinares húmedos**, localizados sobre todo en las fachadas norte de las islas, donde se benefician de mayores precipitaciones y de la influencia del mar de nubes durante el invierno; y **pinares xéricos**, propios de las áreas a sotavento del sur de las islas, poco o nada expuestas a los vientos alisios y afectadas por periodos de sequía a veces muy prolongados (González *et al.*, 1986; Rivas *et al.*, 1993; Fernández-Palacios & de los Santos, 1996).

La vegetación de los pinares presenta una baja riqueza específica, variable según el grado de conservación, siendo el pino canario la especie dominante, y acompañantes típicos el escobón (*Chamaecytisus proliferus*), la jara (*Cistus symphytifolius*), el juagarzo (*Cistus monspeliensis*), el codeso (*Adenocarpus viscosus*), los tomillos (*Micromeria* spp.) y los corazoncillos (*Lotus* spp.) (Ceballos & Ortuño, 1976; González *et al.*, 1986; del Arco *et al.*, 1997; Rodríguez Delgado, 2000). El pino canario es una especie de marcado carácter generalista, capaz de prosperar en ambientes muy variables (Fernández-Palacios, 1999). Suele mostrar preferencia por las laderas medias, huyendo en general del fondo de valles u otras zonas de drenaje difícil, aunque ni la pendiente ni la presencia de terrenos erosionados constituyen factores limitantes para su desarrollo (Blanco *et al.*, 1989). La cúpula de los pinares canarios puede llegar a alcanzar los 30-40 m, aunque puntualmente pueden alcanzar hasta 60 m. Como característica singular, el pino canario presenta una extraordinaria resistencia al fuego, especialmente gracias a su corteza gruesa y a su gran capacidad de regeneración vegetativa y por semillas después de los incendios (Climent *et al.*, 1996).

Los suelos más típicos de esta formación se incluyen en los Órdenes Inceptisoles, Entisoles, Mollisoles y Andisoles (Soil Survey Staff, 2006) -Cambisoles, Leptosoles, Regosoles, Phaeozems y Andosoles (ISSS-ISRIC-FAO, 2006)-. El edafoclima se caracteriza por los contrastes interestacionales. El régimen de temperaturas típico es méxico, con una temperatura media anual entre 8 y 15°C, y más de 6°C de diferencia entre los meses de verano y los de invierno. El régimen hídrico predominante es de tipo xérico, caracterizado por el déficit de agua en verano y en los meses inmediatamente posteriores al verano (septiembre y octubre) y el exceso de agua en invierno (Fernández-Caldas *et al.*, 1982).

Los pinares constituyen las formaciones arbóreas insulares mejor conservadas, a lo que han contribuido enormemente las repoblaciones realizadas durante el pasado siglo en el dominio potencial de pinar. Por otro lado, hay que considerar la incidencia negativa que ejercen los incendios que, periódicamente, afectan a los pinares del Archipiélago, perjudicando enormemente a su integridad ecológica (Pérez & Lucía, 2000).

I.4.2.5. El matorral de cumbre

Esta formación es exclusiva de las islas de Tenerife y La Palma, donde se extiende por encima de los 2.000 m de altitud en ambas vertientes, con la retama del Teide y el codeso del Pico como especies dominantes, respectivamente.

El matorral de cumbre soporta un estrés térmico intenso y un estrés hídrico moderado. Las temperaturas, con medias anuales entre 4 y 13°C, se caracterizan por su amplia oscilación diaria, con insolaciones elevadas, de más de 10 horas de exposición, y frecuentes heladas nocturnas. Las precipitaciones medias anuales son del orden de 350 a 550 mm. La evapotranspiración potencial es muy alta (entre 1.000 y 1.400 mm anuales), principalmente en los meses más cálidos del año, siendo mucho más baja durante los meses de invierno debido a las bajas temperaturas. La humedad relativa es baja, en torno a un 30-40%. El piso bioclimático característico es el meso-supramediterráneo pluviestacional seco, alcanzando en las cotas más altas el oromediterráneo pluviestacional seco (Fernández-Palacios, 1999; del Arco *et al.*, 2006).

La vegetación consiste en matorrales de escasa riqueza específica, dominados por leguminosas: la retama (*Spartocytisus supranubius*) en las cumbres de Tenerife, aportando en exclusiva más del 75% de la biomasa aérea del ecosistema; y el codeso de cumbre (*Adenocarpus viscosus*) en La Palma, donde el matorral de cumbre está mucho peor conservado debido a los incendios y al sobrepastoreo. Los biotipos más habituales son el nanofanerofítico y el camefítico, con un porte almohadillado característico como respuesta evolutiva al estrés térmico reinante (Fernández-Palacios *et al.*, 1992).

Los suelos más característicos son los Entisoles -Leptosoles, Regosoles, Fluvisoles- junto a Andisoles e Inceptisoles -Andosoles y Cambisoles- (Soil Survey Staff, 2006, ISSS-ISRIC-FAO, 2006). El régimen hídrico típico es de tipo xérico, caracterizado por un déficit de agua en el suelo durante los meses de verano (de junio a octubre). El régimen térmico predominante es méxico (temperaturas medias anuales entre 8 y 15°C, con diferencias entre invierno y verano superiores a 6°C) hasta los 3.200 m.sm., y frígido (temperaturas inferiores a 8°C) a altitudes superiores (Tejedor *et al.*, 2002).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

II.1. SELECCIÓN DE LAS LOCALIDADES DE ESTUDIO

Nuestra pretensión al escoger las áreas de estudio fue seleccionar un número reducido de parcelas que representasen los principales ecosistemas naturales de las islas, tanto bien desarrollados y próximos a la madurez, como en estadios degradados por causa de las actividades humanas.

Como se ha visto, los hábitats naturales de las Islas Canarias muestran una enorme variedad, debida a la influencia combinada de factores como la situación del Archipiélago en latitudes cercanas al Trópico de Cáncer y próximo a África, el régimen de vientos alisios, la intrincada orografía isleña o la presencia de una corriente oceánica fría. De modo característico, los ecosistemas naturales de las Islas tienden a distribuirse en bandas altitudinales, produciéndose los mayores contrastes entre la franja expuesta a los vientos alisios húmedos del noreste, y las áreas situadas al abrigo de los alisios, por encima o por debajo de esta franja:

- Bajo la influencia directa de los vientos húmedos, prospera una vegetación boscosa exuberante, el *monteverde*, gracias a unas importantes precipitaciones y a una evapotranspiración limitada. Los suelos de estas áreas, sobre todo *Andisoles*, son de una elevada calidad ambiental sustentando una vegetación de elevada biomasa y valor ecológico, y contribuyendo significativamente al mantenimiento de los flujos hidrológicos.
- En las áreas situadas por debajo de la influencia de los alisios, el clima resulta muy cálido y seco. En general, la vegetación se compone de matorrales xerofíticos adaptados a las condiciones de aridez imperantes, siendo el más típico el *tabaibal-cardonal*. Los suelos, fundamentalmente *Aridisoles* y *Entisoles*, se caracterizan por su escaso contenido en materia orgánica y su tendencia a acumular sales. En la franja más alta, un clima algo menos riguroso permitió en tiempos pretéritos el desarrollo de bosquetes esclerófilos de influencia mediterránea, de los que hoy sólo quedan unos pocos relictos escasamente representativos, ya que es en estas áreas donde se ha establecido tradicionalmente la mayor parte de la población de las islas.
- Por encima de la franja de influencia de los vientos alisios húmedos, éstos son reemplazados por vientos alisios secos procedentes del noroeste. El clima de esta zona montana se caracteriza por periodos de extrema sequedad, la vegetación típica es un *bosque de pino canario* de fronde aciculifolio adaptado a estas condiciones, y los suelos, sobre todo *Inceptisoles*, *Andisoles* y *Entisoles*, se caracterizan en general por su limitado grado de evolución. En cotas más elevadas, las frecuentes heladas truncan la progresión altitudinal de los bosques de pino, desarrollándose en su lugar un matorral de leguminosas que también termina por aclararse, reduciéndose finalmente la vegetación a algunos parches de plantas de pequeño porte como violetas y gramíneas.

En virtud de lo expuesto, hemos considerado la existencia en el Archipiélago, de tres grandes ambientes naturales: **costero árido**, **montano húmedo** y **montano seco**. En cada uno de ellos, nos han interesado los tipos de vegetación más típicos en un estado próximo a la madurez, así como otras comunidades de carácter regresivo resultantes de la degradación

antrópica de los anteriores. Igualmente, pretendimos recoger los suelos más característicos de cada ecosistema, tanto aquellos mejor conservados y de mayor calidad natural, como otros degradados en mayor o menor medida por causa de la acción antrópica.

Sobre la base de trabajos anteriores realizados sobre las variaciones de la calidad del suelo ligadas a las transformaciones de la vegetación (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002b, 2002c, 2005; Arbelo *et al.*, 2002, 2006; Mora, 2008) seleccionamos un total de 10 áreas de estudio. Las parcelas se encuentran situadas en las islas de Tenerife y La Gomera (Figura II.1), y todas se localizan dentro de espacios naturales protegidos (Tabla II.1).

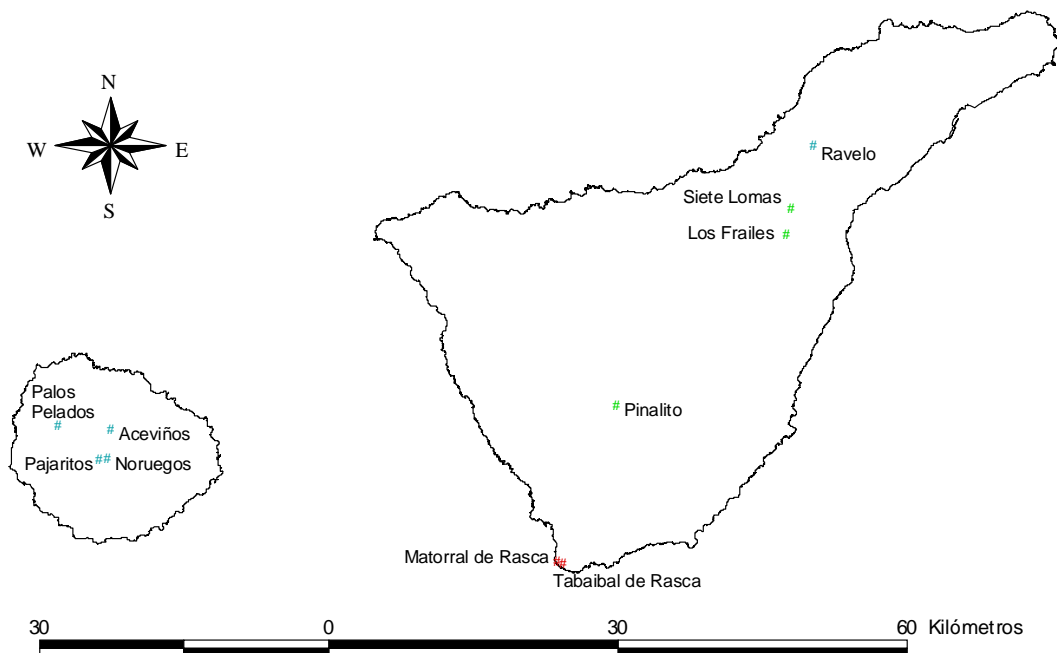


Figura II.1. Localización de las zonas de estudio

En la zona costera seleccionamos una parcela (*Tabaibal de Rasca*) con vegetación de *tabaibal-cardonal*, considerada como la vegetación clímax de estas zonas, y otra parcela (*Matorral de Rasca*) con vegetación arbustiva de sustitución. En ambos casos los suelos (Solonchaks y Solonetz / Haplosalids y Natrargids) se caracterizan por la acumulación de sodio y/o sales procedentes del spray marino, facilitada por la aridez reinante en el ecosistema costero.

En la zona montana húmeda escogimos un total de cinco parcelas. Dos de ellas incluyen manifestaciones de laurisilva próximas a la madurez: *laurisilva de ladera*, propia de situaciones edafotopográficas medias (parcela de *Los Noruegos*); y *laurisilva de valle*, típica en barrancos umbríos y húmedos orientados al norte (parcela de *Los Aceviños*). Otra parcela (*Ravelo*) acoge una plantación de coníferas exóticas, y las dos restantes recogen comunidades naturales de sustitución: un *fayal-brezal*, de porte arbóreo pero degradado y empobrecido en relación al bosque maduro (parcela de *Palos Pelados*); y un matorral compuesto por ericáceas y leguminosas junto a algunas de las especies más agresivas y heliófilas del monteverde (parcela

de *Pajaritos*). En las parcelas de *Los Noruegos*, *Los Aceviños* y *Ravelo*, los suelos son Fulvudands páchicos (Andosoles fúlvicos), representativos del bosque bien desarrollado: profundos, ricos en materia orgánica, y húmedos la mayor parte del año. La degradación de los suelos del monte verde maduro se concreta normalmente en una degradación de la materia orgánica, acompañada de una pérdida progresiva del carácter ándico; la génesis de horizontes argílicos por la removilización de arcillas hacia los horizontes profundos del suelo; la pérdida de espesor del suelo; y la modificación del régimen hídrico, que pasa de ser údico a xérico (Mora, 2008). Los suelos de *Palos Pelados* representan un primer estadio degradativo en este proceso donde la degradación biológica y la argilificación se encuentran en su etapa inicial (Fulvudands úticos, Andosoles fúlvicos endoarclílicos), mientras que en *Pajaritos* los suelos son ya más someros y pedregosos, han perdido carácter ándico y se ven sometidos a un prolongado periodo de sequía estival (Haploxeralfs líticos, Luvisoles lépticos).

Finalmente, las tres parcelas seleccionadas en la zona montana seca incluyen dos manifestaciones de pinar canario, en sus variantes xérica (parcela de *Pinalito*) y húmeda (*Los Frailes*), y un matorral de leguminosas propio de terrenos deforestados (*Siete Lomas*). Los suelos de las parcelas de pinar recogen tipologías edáficas típicas de los pinares de la vertiente norte (Faeozems / Molisoles) y sur de las Islas (Cambisoles / Inceptisoles). Por su parte, la parcela de *Siete Lomas* alberga suelos lépticos y esqueléticos (Haploxerands álficos, Andosoles lépticos), afectados por severos procesos de degradación.

II.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos de cada parcela se caracterizaron mediante la realización de perfiles. Las características generales de cada perfil y de sus horizontes, así como los rasgos del entorno más relevantes para los suelos y la vegetación, fueron descritos en el campo siguiendo la metodología detallada por Rodríguez & Arbelo (1998). En cada uno de los horizontes de los perfiles se colectó una muestra de suelo para el análisis en el laboratorio de sus propiedades físico-químicas (Tabla II.2).

II.2.1. Preparación de las muestras

Las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron para separar los elementos gruesos (>2 mm) de la tierra fina (<2 mm). Los elementos gruesos fueron cuantificados y desechados. Todas las determinaciones analíticas se realizaron en la fracción de tierra fina, a excepción de la densidad aparente.

| Tabla II.1. Descripción de las zonas de estudio | | | | | |
|---|---|--|---|------------------------------|----------------------|
| ZONA | SERIE DE VEGETACIÓN | VEGETACIÓN ACTUAL | TIPO DE SUELO | | NOMBRE DE LA PARCELA |
| | | | WRB | SOIL TAXONOMY | |
| ZONA COSTERA | Serie climatófila inframediterránea desértica tinerfeña árida de la tabaiba dulce (<i>Euphorbia balsamifera</i>): <i>Ceropegio fuscae-Euphorbieto balsamiferae</i> sigmetum | Tabaibal dulce (<i>Ceropegio fuscae-Euphorbietum balsamiferae</i>) | Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) | Haplosalids típicos | Tabaibal de Rasca |
| | | Matorral árido de sustitución (<i>Launaeo arborescentis Schizogynetum sericeae</i>) | Solonetzs háplicos (arídicos) | Natrargids ácuicos | Matorral de Rasca |
| ZONA MONTANA HÚMEDA | Serie climatófila termomesomediterránea mesofítica canaria occidental subhúmedo-húmeda del viñatigo (<i>Persea indica</i>): <i>Lauro-Perseeto indicae</i> sigmetum | Laurisilva de valle (<i>Lauro novocanariensis-Perseetum indicae</i> , facie de <i>Persea indica</i>) | Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) | Fulvudands éutricos páchicos | Los Aceviños |
| | | Laurisilva de ladera (<i>Lauro novocanariensis-Perseetum indicae</i> , facie de <i>Laurus azorica</i>) | Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) | Fulvudands páchicos | Los Noruegos |
| | | Fayal-brezal arbóreo (<i>Myrico fayae-Ericetosum arboreae</i>) | Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcílicos) | Fulvudands últicos | Palos Pelados |
| | | Brezal arbustivo (<i>Myrico fayae-Ericetosum arboreae</i> , <i>Telino canariensis-Adenocarpion foliolosi</i>) | Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) | Haploxeralfs líticos ándicos | Pajaritos |
| | | Plantación de pino de Monterrey (<i>Pinus radiata</i>), sotobosque de fayal-brezal (<i>Myrico fayae-Ericetosum arboreae</i>) | Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) | Fulvudands éutricos páchicos | Ravelo |
| ZONA MONTANA SECA | Serie climatófila mesomediterránea mesofítica tinerfeña seco-subhúmeda inferior del pino canario (<i>Pinus canariensis</i>): <i>Sideritido-Pineto canariensis</i> sigmetum | Pinar húmedo (<i>Sideritido solutae-Pinetum canariensis</i> , subass. <i>ericetosum arboreae</i>) | Phaeozems lúvicos (arcílicos) | Argiustolls ándicos | Los Frailes |
| | | Pinar xérico (<i>Sideritido solutae-Pinetum canariensis</i> , subass. <i>pinetosum canariensis</i>) | Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) | Distroxerepts líticos | Pinalito |
| | | Matorral de sustitución (<i>Sideritido solutae-Pinetum canariensis</i> , facie de <i>Chamaecytisus proliferus</i> subsp. <i>angustifolius</i>) | Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) | Haploxerands álficos húmicos | Siete Lomas |

II.2.2. Propiedades físicas

II.2.2.1. Densidad aparente

La determinación se realizó en muestras no perturbadas de suelo recogidas en cilindros metálicos de volumen conocido, y se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante. Se calculó la densidad aparente como el cociente entre el peso seco de la muestra de suelo y el volumen del cilindro (Blake, 1965). Los datos se expresan en megagramos por metro cúbico (Mg m^{-3}).

II.2.2.2. Composición granulométrica

Para el análisis de la composición granulométrica de las muestras de suelo se realizó una dispersión previa con una solución de hexametáfosfato sódico. El contenido en arcillas y limos se determinó utilizando el método del densímetro de Boyoucos, basado en la separación de partículas de diferente tamaño en función de su distinta velocidad de sedimentación en solución. La fracción arena (fina y gruesa) fue determinada por tamizado en tamices de 0,05 mm y 0,2 de diámetro (Gee & Bauder, 1986). Los contenidos de cada una de las fracciones se expresan en gramos por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

II.2.2.3. Capacidad de retención de agua

El método utilizado fue el de Richards (1947). Inicialmente las muestras de suelo fueron dispuestas sobre placas porosas de cerámica y humedecidas hasta el estado de saturación. A continuación las placas fueron introducidas en ollas donde se las sometió a presiones de 33 kPa y 1.500 kPa, permaneciendo en ellas hasta que terminó de drenar el agua en exceso. Las muestras de suelo fueron recuperadas de las placas y se cuantificó entonces su contenido de humedad secando en estufa a 105°C hasta peso constante. Los datos de retención de agua para ambas presiones se expresan en gramos por kilogramo de suelo (g kg^{-1}). La retención de agua a 33 kPa se considera correspondiente con la humedad del suelo a capacidad de campo, mientras que la retención a 1.500 kPa se supone equivalente al contenido de agua del suelo en el punto de marchitamiento permanente para una planta mesofítica típica. La diferencia entre ambas cantidades se refiere habitualmente como agua disponible para las plantas o agua útil del suelo.

II.2.3. Propiedades químicas

II.2.3.1. Reacción del suelo

Se midió el pH del suelo mediante un pH-metro, en una suspensión de suelo en proporción 1:2,5 en agua (acidez actual) y en cloruro potásico 1N (acidez potencial), después de agitación y de 30 minutos de reposo (Porta *et al.*, 1986; Van Reevwijk, 1993).

| | Zona costera | | Zona montana húmeda | | | | | Zona montana seca | | |
|---|-------------------|-------------------|---------------------|--------------|---------------|-----------|--------|-------------------|----------|-------------|
| | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
| Densidad aparente | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Composición granulométrica | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Capacidad de retención de agua | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Reacción del suelo | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Corgánico total | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Nitrógeno total | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Disolución del suelo (C.E. _{es} , cationes y aniones solubles) | x | x | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Bases de cambio y CCC | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Carbonatos | x | x | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Propiedades ándicas | - | - | x | x | x | x | x | x | x | x |

II.2.3.2. Carbono orgánico oxidable total

Se utilizó el método clásico de Walkley-Black (1934), basado en la oxidación de la materia orgánica del suelo usando una mezcla de dicromato potásico 1N, ácido sulfúrico concentrado y ácido fosfórico, valorando el dicromato potásico que no se ha reducido con sulfato ferroso amónico 0,5N. Las muestras de suelos salinos se tratan con sulfato de plata para evitar la interferencia de los cloruros en la determinación (Quinn & Salomon, 1964). El contenido de carbono se expresa en gramos por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

II.2.3.3. Nitrógeno total

Para la determinación del nitrógeno total de las muestras de suelo se empleó el método de Kjeldahl (Benton Jones, 1991). Las muestras son sometidas a una digestión con una mezcla de ácido sulfúrico concentrado y ácido acetilsalicílico empleando selenio metálico como catalizador de la reacción. De esta manera todo el nitrógeno de las muestras es mineralizado y, a continuación, es separado por destilación y valorado empleando ácido clorhídrico 0,1N y verde bromocresol como indicador. El nitrógeno total se expresa en gramos por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

II.2.3.4. Disolución del suelo

La composición de la disolución del suelo se estudió en un extracto de pasta saturada. Este extracto se prepara añadiendo agua desmineralizada a una muestra de suelo (seca al aire y

tamizada a 2 mm) hasta formar una pasta homogénea, con suficiente agua para considerar que está saturada, pero sin que se lleguen a formar dos fases por exceso de agua. La pasta se deja aproximadamente 24 horas en reposo y después se extrae la solución aplicando vacío y filtrando con un embudo buchner (Porta *et al.*, 1986; MAPA, 1993).

En el extracto de pasta saturada se midió en primer lugar la conductividad eléctrica (CE_{es}) mediante un conductímetro, considerándose que el suelo era salino cuando ésta resultó superior a 2 decisiemens por metro ($dS\ m^{-1}$). De ser así, se determinaron los cationes y aniones solubles en el mismo extracto. El calcio y el magnesio se midieron por espectrofotometría de absorción atómica, en presencia de lantano (para evitar interferencias con el sílice), y el sodio y el potasio mediante fotometría de emisión de llama. En el caso de los aniones solubles, se determinó el bicarbonato soluble por potenciometría con ácido clorhídrico, los cloruros por potenciometría con el método de Ag/AgCl en valorador Mettler DL25 Titrator, y los sulfatos por turbidimetría por el método de Bower & Wilcox (1965). Los datos se expresan en miliequivalentes por litro ($mEq\ L^{-1}$).

II.2.3.5. Complejo de cambio

Para determinar los cationes de cambio y la capacidad total de cambio de las muestras de suelo se utilizó el método de Bower *et al.*, (1952). Los cationes fueron extraídos con acetato amónico 1N (pH 7), salvo en las muestras de las parcelas *Tabaibal* y *Matorral de Rasca*, donde los cationes calcio y magnesio fueron extraídos con acetato sódico 1N (pH 8,2) debido a su contenido en carbonatos.

Después de la extracción de los cationes de cambio se realizaron lavados reiterados con etanol hasta eliminar los residuos de extractante, para finalmente extraer con cloruro potásico 1N o acetato amónico 1N los cationes amonio o sodio adsorbidos, que se corresponden con la capacidad total de cambio. El calcio y el magnesio fueron determinados por espectroscopía de absorción atómica y el sodio y el potasio mediante espectrofotometría de llama. El amonio se determinó por el método colorimétrico de Nessler (Peech *et al.*, 1947).

El resultado se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo de suelo ($cmol_c\ kg^{-1}$). En las muestras de suelo consideradas salinas (conductividad eléctrica del extracto de saturación $> 2\ dS\ m^{-1}$) se calcularon los cationes de cambio como la diferencia entre los cationes extraídos por este método y los cationes solubles, determinados en el extracto de saturación.

Como parámetro adicional, se calculó el porcentaje de saturación de bases, definido como el cociente de la suma de bases cambiables y la capacidad de cambio catiónico. Cuando la suma de los cationes de cambio excedió la capacidad de cambio estimada, se consideró una saturación del 100%.

II.2.3.6. Carbonatos

El contenido en carbonatos se evaluó utilizando un calcímetro de Bernard (Barahona, 1984; MAPA, 1993). Con este dispositivo se mide el desplazamiento de una columna de una solución

salina saturada de dióxido de carbono, por el dióxido de carbono emitido por una muestra de suelo finamente pulverizada en contacto con ácido clorhídrico al 50%. El contenido en carbonato cálcico de la muestra es proporcional al volumen desplazado, y se expresa en gramos por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

II.2.3.7. Propiedades ándicas

El análisis de las propiedades ándicas (propiedades características de los suelos de origen volcánico con minerales de ordenación de corto alcance) se realizó siguiendo la metodología descrita por Blakemore *et al.* (1981).

Las formas activas de hierro, aluminio y sílice ligadas a minerales amorfos se extrajeron del suelo mediante una solución de oxalato amónico / ácido oxálico a pH 3, y las formas de hierro y aluminio componentes de complejos organominerales empleando una solución de pirofosfato sódico 0,1M (McKeague, 1967; Wada, 1989; Shoji *et al.*, 1993). La determinación de los metales extraídos en ambos procedimientos se realizó mediante espectrometría de absorción atómica. Los datos se expresan en gramos por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).

La capacidad de retención de fosfato del suelo se evaluó sometiendo las muestras de suelo al contacto en agitación con una solución de dihidrógenofosfato potásico a una concentración de 1 mg P L^{-1} durante 24 horas. La retención de fosfato del suelo es inversamente proporcional a la cantidad de fosfato restante en la solución obtenida. La valoración se realiza por colorimetría, expresándose el dato en forma de porcentaje (%).

II.2.4. Clasificación

De acuerdo con la caracterización morfológica y los datos analíticos de los perfiles se clasificaron los suelos según la Base de Referencia Mundial para los Recursos de Suelos (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y la Taxonomía de Suelos americana (Soil Survey Staff, 2006). Los regímenes hídricos y térmicos de cada suelo estudiado se estimaron por el método clásico de Thornwaite (1948), utilizando para ello datos meteorológicos interpolados a partir de los de las estaciones meteorológicas más próximas.

II.3. DESCRIPCIÓN DE LA VEGETACIÓN

La vegetación de cada localidad fue caracterizada mediante diferentes parámetros descriptores de la composición florística (**riqueza**), de la importancia relativa de las distintas especies en la comunidad (**densidad**, **cobertura**, **DBH** y **área basimétrica**, **biovolumen**, **biomasa**) y de la estructura de la misma (**espectro biológico**). Esta información sirvió además para identificar en cada caso la comunidad vegetal presente y la serie de vegetación en la que se encuadra (Tabla II.1) (del Arco *et al.*, 2006).

Para la caracterización de la vegetación se delimitaron parcelas de superficie variable en función del ecosistema estudiado: 25x25 m (625 m²) en algunas parcelas con vegetación arbórea, 25x8 m (200 m²) en las restantes. En cada parcela se realizó un inventario de la composición florística, siguiendo la nomenclatura indicada por Acebes *et al.* (2004), contabilizándose la **riqueza** o **número de especies**.

La **densidad** se obtuvo del conteo directo de los individuos presentes por unidad de superficie, considerando sólo aquellas especies que aportaban una biomasa significativa a la comunidad vegetal. En algunos casos el elevado número y pequeño porte de los individuos obligó a establecer en cada parcela varias subparcelas de dimensiones menores, cuyos resultados se interpolaron a la superficie total.

La **cobertura** de las distintas especies en cada parcela se estimó utilizando la técnica de muestreo lineal (Canfield, 1941; Fernández-Palacios & de los Santos, 1996). Este método consiste en disponer regularmente sobre la parcela una serie de líneas paralelas entre sí, midiéndose la intersección de los diferentes individuos sobre la proyección vertical de cada una de las líneas. La cobertura de cada especie se calcula sumando todas sus intersecciones y dividiendo por el total de longitud muestreada. En cada parcela se midió un total de 26 líneas de 8 m cada una y se expresaron los datos en forma de porcentaje (%).

La estructura de la vegetación se describió empleando la clasificación fisionómica de Raunkjaer (1934), contabilizando en cada ecosistema la cobertura total de las especies pertenecientes a cada uno de los siguientes **biotipos**:

- Megafanerófitos: árboles de gran porte, con yemas por encima de los 30 m de altura.
- Mesofanerófitos: plantas arbóreas de talla media con yemas entre 8 y 30 m de altura.
- Microfanerófitos: arbustos altos y árboles pequeños con yemas entre 2 y 8 m.
- Nanofanerófitos: subarbustos con yemas situadas entre 0,25 y 2 m de altura.
- Fanerófitos trepadores: enredaderas perennes con tallos sarmentosos y yemas situadas a niveles diferentes del suelo según la especie.
- Caméfitos: pequeñas plantas perennes cuyas yemas de renuevo se encuentran a menos de 25 cm de la superficie del suelo.
- Hemicriptófitos: plantas perennes que durante la estación desfavorable permanecen semicultas, con las yemas situadas a ras del suelo.
- Geófitos: plantas perennes que subsisten bajo la superficie del suelo durante la estación desfavorable, quedando las yemas enterradas en el mismo.
- Terófitos: hierbas anuales que en la estación desfavorable se quedan reducidas a semillas.

En aquellas parcelas con vegetación arbustiva, se consideró de interés la medida del **biovolumen**, como paso previo para calcular la biomasa de cada especie. Llamamos biovolumen al volumen de un cilindro hipotético que contiene la totalidad de cada individuo, y

se calcula a partir de la medida de su diámetro basal y su altura. Los datos se expresan en cm^3 o en m^3 , según las dimensiones de cada especie.

Análogamente, en las comunidades de porte arbóreo se midió el **DBH** (*diameter at breast height*, diámetro a la altura del pecho) de los individuos con una altura superior o igual a 1,5 metros. El DBH se correlaciona con la biomasa del individuo, de manera característica para cada especie. Calculamos el **área basimétrica** de cada especie como el resultado del producto de la densidad de individuos y del DBH medio de los mismos.

La **biomasa** se define como la cantidad total de materia orgánica contenida en los distintos organismos que forman parte del ecosistema. Así, distinguimos varios compartimentos: tejidos vegetales vivos (fitomasa aérea y subterránea), tejidos animales vivos (zoomasa) y tejidos animales y vegetales muertos (necromasa). La biomasa suele expresarse como peso seco, es decir, después de extraer el agua secando las muestras en estufa (80°C hasta peso constante) (Fernández-Palacios & de los Santos, 1996; Terradas, 2001).

La **fitomasa aérea** de la comunidad se calculó como la suma de las biomásas de las especies individuales, estimada mediante ecuaciones de regresión que estiman la biomasa a partir de medidas biométricas como el biovolumen (especies herbáceas, arbustivas y subarbustivas) o el diámetro a la altura del pecho (especies arbóreas) (Fernández-Palacios *et al.*, 1991, 1992; Karakatsoulis & Kimmins, 1993; TRAGSATEC, 1996; Otto *et al.*, 2001). Para este cálculo se consideraron sólo aquellas especies con una aportación significativa de biomasa al total, descartándose las herbáceas anuales en las parcelas con vegetación arbustiva, y las especies herbáceas y arbustivas en las parcelas con vegetación arbórea.

En la Tabla II.3 se muestra la superficie y el nº de individuos total muestreados por especie en cada una de las parcelas de estudio para la determinación de la biomasa, así como los parámetros descriptores de la vegetación utilizados en cada caso.

En los casos de los táxones de los que no disponíamos de ecuaciones de regresión específicas, se utilizaron las correspondientes a táxones próximos de porte similar. De no encontrarse ecuaciones extrapolables, se elaboraron *de novo* a partir de ejemplares de la especie en cuestión, estableciendo la ecuación más adecuada a partir de las medidas biométricas y el peso seco (en estufa a 80°C). Así se hizo con las especies *Chamaecytisus proliferus*, *Frankenia capitata*, *Limonium pectinatum*, *Polycarpaea nivea* y *Reseda scoparia*. De cada una de ellas se muestrearon un número variable de individuos de distinto tamaño, a los cuales se les midió el diámetro basal y la altura. El biovolumen se calculó a partir de los diámetros y la altura para cada uno de los individuos. Los datos de biovolumen y de peso seco se utilizaron para obtener las rectas de regresión correspondientes (Figura II.2). En la Tabla II.4 se muestran las ecuaciones de regresión utilizadas para el cálculo de la biomasa por especie. Los datos de biomasa obtenidos para cada ecosistema se expresaron como toneladas por hectárea (t ha^{-1}).

| Tabla II.3. Superficie, tamaño muestral y descriptores utilizados en la determinación de la biomasa | | | |
|---|------------------------------|----|-------------------------|
| Parcela / Vegetación | Superficie (m ²) | N | Descriptores |
| Los Aceviños / laurisilva de valle | | | |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Laurus novocanariensis</i> Rivas-Mart., Lousa, Fern. Prieto, E. Días, J.C. Costa & C. Aguiar | 2.202 | 19 | DBH, altura |
| <i>Persea indica</i> (L.) C.K. Spreng | 2.202 | 26 | DBH, altura |
| Los Noruegos / laurisilva de ladera | | | |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 1.317 | 21 | DBH, altura |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir | 1.317 | 7 | DBH, altura |
| <i>Laurus novocanariensis</i> Rivas-Mart., Lousa, Fern. Prieto, E. Días, J.C. Costa & C. Aguiar | 1.317 | 78 | DBH, altura |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 1.317 | 13 | DBH, altura |
| Palos Pelados / fayal-brezal arbóreo | | | |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 380 | 81 | DBH, altura |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir | 380 | 5 | DBH, altura |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 380 | 7 | DBH, altura |
| Pajaritos / brezal arbustivo | | | |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 200 | 1 | DBH, altura |
| Fanerófitos trepadores | | | |
| <i>Rubia peregrina</i> L. | 25 | 8 | Ø basal, altura |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Adenocarpus foliolosus</i> (Aiton) DC. | 200 | 96 | Ø basal, altura |
| <i>Cistus monspeliensis</i> L. | 200 | 22 | Ø basal, altura |
| <i>Sonchus hierrensis</i> (Pit.) Boulos | 200 | 2 | Ø basal, altura |
| Caméfitos | | | |
| <i>Andryala pinnatifida</i> Aiton | 25 | 45 | Ø basal, altura |
| <i>Micromeria lepida</i> Webb & Berthel. | 25 | 37 | Ø basal, altura |
| <i>Polycarpha divaricata</i> (Aiton) Poir. | 25 | 4 | Ø basal, altura |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn | 200 | 22 | Cobertura, altura media |
| Ravelo / plantación de <i>Pinus radiata</i> con sotobosque de fayal-brezal | | | |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir | 200 | 7 | DBH, altura |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 200 | 1 | DBH, altura |
| <i>Pinus radiata</i> D. Don | 200 | 13 | DBH |
| Los Frailes / pinar húmedo | | | |
| Megafanerófitos | | | |
| <i>Pinus canariensis</i> Chr. Sm. ex DC. in Buch | 625 | 17 | DBH |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 200 | 1 | DBH, altura |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir. | 625 | 5 | DBH, altura |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 625 | 4 | DBH, altura |
| Pinalito / pinar xérico | | | |
| Megafanerófitos | | | |
| <i>Pinus canariensis</i> Chr. Sm. ex DC. in Buch | 625 | 15 | DBH |
| Siete Lomas / escobonal | | | |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Adenocarpus viscosus</i> (Willd.) Webb & Berth. | 200 | 22 | Ø basal, altura |
| <i>Chamaecytisus proliferus</i> (L. fil.) Link | 200 | 35 | Ø basal, altura |
| <i>Sideritis oroteneriffae</i> Negrín & P. Pérez | 40 | 56 | Ø basal, altura |
| Caméfitos | | | |
| <i>Micromeria hyssopifolia</i> Webb & Berth. | 200 | 70 | Ø basal, altura |

| Parcela / Vegetación | Superficie (m ²) | N | Descriptores |
|---|------------------------------|-----|-----------------|
| Tabaibal de Rasca / tabaibal dulce halófilo | | | |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Euphorbia balsamifera</i> Ait. | 200 | 31 | Ø basal, altura |
| <i>Euphorbia canariensis</i> L. | 200 | 1 | Ø basal, altura |
| <i>Lycium intricatum</i> Boiss. | 200 | 1 | Ø basal, altura |
| <i>Schizogyne sericea</i> (L. fil.) DC. | 200 | 14 | Ø basal, altura |
| Caméfitos | | | |
| <i>Frankenia capitata</i> Webb & Berth. | 200 | 14 | Ø basal, altura |
| <i>Limonium pectinatum</i> (Ait.) O. Kuntze | 200 | 5 | Ø basal, altura |
| <i>Polycarpaea aristata</i> (Ait.) DC | 200 | 2 | Ø basal, altura |
| <i>Polycarpaea nivea</i> (Ait.) Webb | 200 | 1 | Ø basal, altura |
| <i>Reseda scoparia</i> Brouss. ex Willd. | 200 | 59 | Ø basal, altura |
| Terófitos | | | |
| <i>Heliotropium ramosissimum</i> (Lehm.) DC. | 200 | 25 | Ø basal, altura |
| Matorral de Rasca / matorral árido de sustitución | | | |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Launaea arborescens</i> (Batt.) Murb. | 200 | 22 | Ø basal, altura |
| <i>Schizogyne sericea</i> (L. fil.) DC. | 200 | 461 | Ø basal, altura |
| Caméfitos | | | |
| <i>Frankenia capitata</i> Webb & Berth. | 40 | 206 | Ø basal, altura |
| <i>Limonium pectinatum</i> (Ait.) O. Kuntze | 200 | 2 | Ø basal, altura |
| <i>Reseda scoparia</i> Brouss. ex Willd. | 56 | 108 | Ø basal, altura |

| Especie | Fórmula | Fuente |
|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| <i>Adenocarpus foliolosus</i> | $B = 0,5119 * B_v^{0,2025}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Adenocarpus viscosus</i> | $B = 1,0903 * B_v^{0,8468}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Andryala pinnatifida</i> | $B = 10,7038 * B_v^{1,8812}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Chamaecytisus proliferus</i> | $B = 4,4158 * B_v^{0,4575}$ | Elaboración propia |
| <i>Cistus monspeliensis</i> | $B = 1,2520 * B_v^{1,1957}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Erica arborea</i> | $B = 0,06911 * DBH^{1,690464} * H^{1,076253}$ | TRAGSATEC, 1996 |
| <i>Euphorbia balsamifera</i> | $B = 1,4224 * B_v^{1,0116}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Euphorbia canariensis</i> | $B = 6,5274 * B_v^{0,7131}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Frankenia capitata</i> | $B = 13,9085 * B_v^{1,0683}$ | Elaboración propia |
| <i>Heliotropium ramosissimum</i> | $B = 1,9412 * B_v^{1,1379}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Ilex canariensis</i> | $B = 0,124046 * DBH^{1,637561} * H^{1,100049}$ | TRAGSATEC, 1996 |
| <i>Launaea arborescens</i> | $B = 1,3495 * B_v^{0,9415}$ | Otto <i>et al.</i> , 2001 |
| <i>Laurus novocanariensis</i> | $B = 0,075721 * DBH^{2,605796} * H^{0,03933}$ | TRAGSATEC, 1996 |
| <i>Limonium pectinatum</i> | $B = 5,4385 * B_v^{1,2451}$ | Elaboración propia |
| <i>Lycium intricatum</i> | $B = 1,191 * B_v^{1,052}$ | Otto <i>et al.</i> , 2001 |
| <i>Micromeria spp.</i> | $B = 0,3101 * B_v^{1,0603}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Myrica faya</i> | $B = 0,325332 * DBH^{2,062668} * H^{0,055325}$ | TRAGSATEC, 1996 |
| <i>Persea indica</i> | $B = 0,270617 * H^{1,723001} * H^{0,48573}$ | TRAGSATEC, 1996 |
| <i>Pinus canariensis</i> | $B = 0,0185 * DBH^{2,8666}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Pinus radiata</i> | $B = ((1,893 * \ln DBH) - 3,365) + ((2,413 * \ln DBH) - 4,332) + ((2,320 * \ln DBH) - 2,201)$ | Baker <i>et al.</i> , 1984 |
| <i>Polycarpaea spp.</i> | $B = 0,0232 * B_v^{0,2057}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Polycarpaea nivea</i> | $B = 6,138 * B_v^{0,871}$ | Elaboración propia |
| <i>Pteridium aquilinum</i> | $B_f = -2,448 + (1,22 * \ln C) + (0,537 * \ln H_m)$ $B_t = -5,208 + (1,079 * \ln C) + (1,061 * \ln H_m)$ | Karakatsoulis & Kimmins, 1993 |
| <i>Reseda scoparia</i> | $B = 1,6979 * B_v^{1,0496}$ | Elaboración propia |
| <i>Rubia spp.</i> | $B = 1,302 * B_v^{1,037}$ | Otto <i>et al.</i> , 2001 |
| <i>Schizogyne sericea</i> | $B = 1,8982 * B_v^{1,2302}$ | Otto <i>et al.</i> , 2001 |
| <i>Sideritis roteneriffae</i> | $B = 0,38 * B_v^{0,7469}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |
| <i>Sonchus hierrensis</i> | $B = 0,1807 * B_v^{0,9155}$ | Fdez.-Palacios <i>et al.</i> , 1992 |

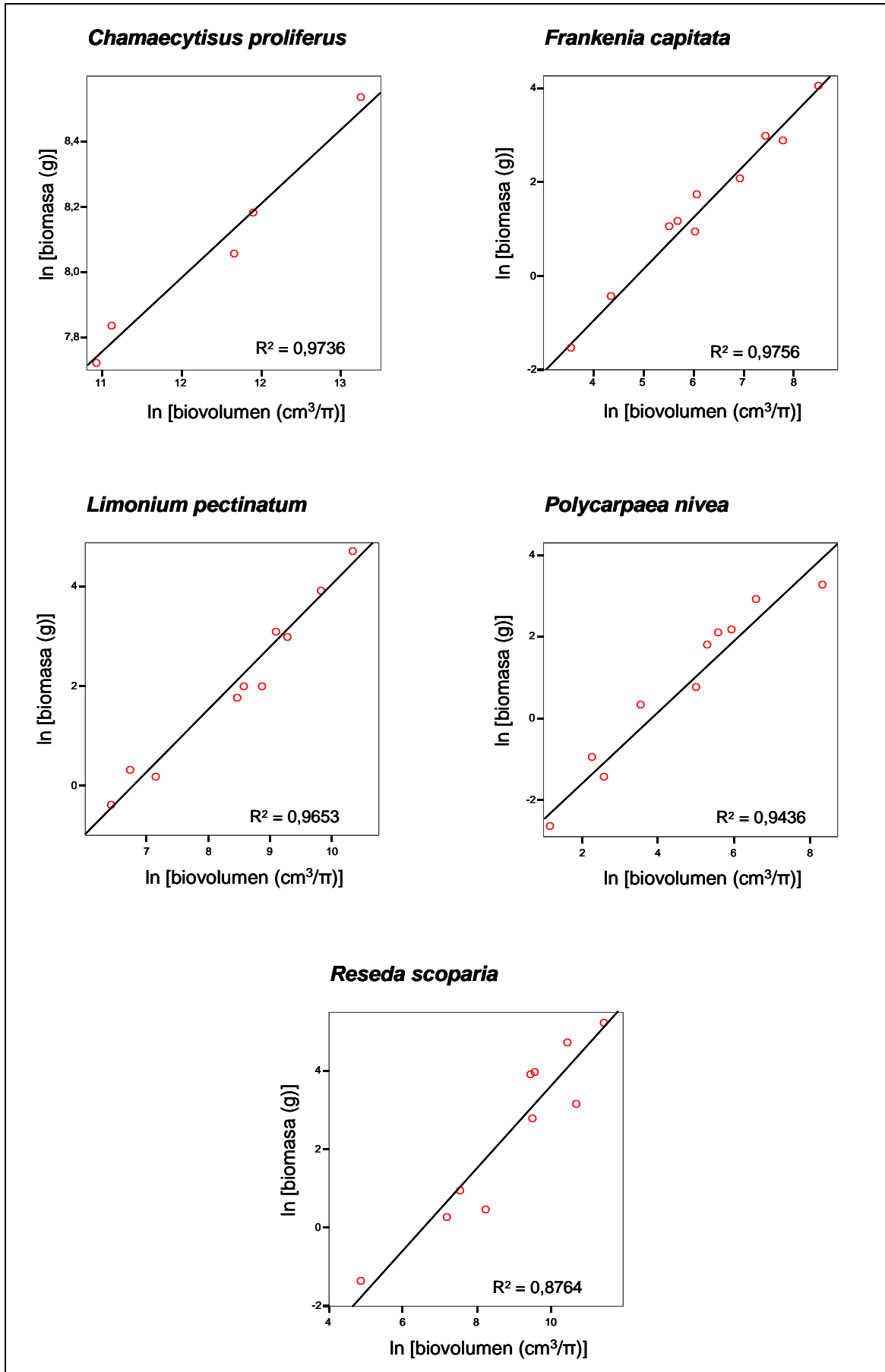


Figura II.2. Análisis dimensional de la biomasa de distintas especies vegetales

II.4. ESTIMACIÓN DE LOS RESERVORIOS DE CARBONO

Uno de los objetivos de este trabajo es el de conocer la cantidad de carbono acumulado en los principales compartimentos de los ecosistemas canarios más característicos. Con este fin se analizó el contenido de carbono y nitrógeno en muestras representativas de fitomasa, necromasa, raíces y suelo y se estimó la reserva de carbono por compartimento en cada una de las parcelas de estudio.

II.4.1. Suelo

El muestreo de suelos se realizó mediante una sonda manual de volumen conocido, a intervalos regulares de diez centímetros de profundidad (cinco centímetros en el horizonte superficial) hasta alcanzar bien el material de origen, bien un horizonte C de escasa edafización y sin una variación perceptible de sus propiedades en profundidad. Las muestras así obtenidas fueron secadas al aire, se separaron los elementos gruesos y las raíces utilizando tamices con luz de malla de 2 y 0,5 mm, respectivamente y se cuantificó la cantidad de tierra fina.

En cada muestra se analizaron los contenidos de carbono orgánico oxidable total, carbono inorgánico y nitrógeno total, por los métodos de Walkley & Black (ver Sección II.2.3.2), determinación de carbonatos con calcímetro de Bernard (Sección II.2.3.6) y nitrógeno-Kjedahl (Sección II.2.3.3) respectivamente.

También se realizó una especiación sencilla del carbono edáfico basada en la extracción, mediante una solución de pirofosfato sódico 0,1M, de las formas de carbono ligadas a la materia mineral (*carbono complejo del suelo*) (McKeague, 1968; Schnitzer & Schuppli, 1989). Se consideró como carbono no-ligado a la materia mineral (*carbono no-complejado*) al estimado por la diferencia entre este carbono complejo y el carbono orgánico oxidable total, según la siguiente expresión:

$$C \text{ no-complejado} = C \text{ orgánico oxidable total} - C \text{ complejo}$$

La reserva de carbono en sus distintas formas y de nitrógeno en los suelos se calculó ponderando el contenido con el volumen y el peso de suelo muestreado. Los resultados se expresan como toneladas por hectárea ($t \text{ ha}^{-1}$).

II.4.2. Fitomasa y necromasa

El estudio del carbono y nitrógeno contenidos en la vegetación se llevó a cabo mediante el análisis de muestras representativas de la fitomasa aérea recogidas a tal efecto, y de las raíces obtenidas del interior del suelo a distintas profundidades mediante una sonda manual, separadas del suelo mediante cribado en un tamiz de 0,5 mm de malla (ver Sección II.4.1) (Chapman, 1986; Fernández-Palacios & de los Santos, 1996).

La necromasa, fundamentalmente hojarasca, se colectó y cuantificó en subparcelas de $0,5\text{m}^2$, ubicadas al azar en las parcelas de estudio (Foto II.1), repitiéndose la medida en distintos lugares de la parcela y épocas del año a fin de recoger la variabilidad espacial y temporal existente (12 muestras por parcela). En muchos casos no existe una distinción clara entre el mantillo y los horizontes propiamente edáficos (Fernández-Palacios & de los Santos, 1996), razón por la cual muchos autores optan por recolectar también la capa superior del suelo y separar de la misma, como parte del mantillo, los restos vegetales aún reconocibles (Kavvadias *et al.*, 2001; Martius *et al.*, 2004). En el presente trabajo, nosotros hemos considerado dichos restos como una fracción poco transformada pero ya integrante de la materia orgánica del suelo, y por esta razón hemos restringido la recolección del mantillo a la capa de material depositado inmediatamente sobre la superficie del suelo y constituido por restos vegetales aún identificables como tales.



Foto II.1. Aro de recogida de necromasa

El material vegetal se sometió en todos los casos a un procesamiento que incluye su lavado con agua desionizada, troceado, secado en estufa a 80°C y pulverización en molino, y se analizó su contenido de C y N mediante un autoanalizador elemental Leco. Este analizador convierte todas las formas de C y N en los gases CO_2 y N_2 respectivamente, por un proceso de combustión. El carbono total se determina haciendo pasar los gases por un detector de infrarrojos y el nitrógeno con un detector de conductividad térmica localizado en el interior del horno Leco.

La reserva de carbono y nitrógeno de cada uno de estos compartimentos se calculó interpolando los resultados obtenidos al total de la biomasa vegetal aérea (ver Sección II.3) y a la cantidad de raíces y necromasa muestreadas en cada parcela de estudio. Los datos se expresan

como toneladas de carbono y nitrógeno por hectárea ($t\ C\ ha^{-1}$ y $t\ N\ ha^{-1}$) y se calculan a partir de las siguientes expresiones sencillas:

$$C,N\text{- fitomasa aérea } (t\ ha^{-1}) = \text{fitomasa aérea } (t\ ha^{-1}) * C,N\text{- fitomasa aérea } (\%) / 100$$

$$C,N\text{- raíces } (t\ ha^{-1}) = \text{raíces } (t\ ha^{-1}) * C,N\text{- raíces } (\%) / 100$$

$$C,N\text{- necromasa } (t\ ha^{-1}) = \text{necromasa } (t\ ha^{-1}) * C,N\text{- necromasa } (\%) / 100$$

II.5. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL CARBONO Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA

Durante un periodo de dos años (abril 2003 - enero 2004 y abril 2005 - enero 2006) se midieron estacionalmente (primavera, verano, otoño e invierno) diversos parámetros descriptores de la dinámica del carbono en los distintos ecosistemas del estudio a lo largo del año. Los parámetros medidos incluyen los siguientes:

- Desfronde: cuantificación de los aportes de carbono y nitrógeno por caída de hojas y ramas, composición química de la hojarasca y tasa de descomposición
- Carbono y nitrógeno contenidos en las raíces de los horizontes superficiales del suelo
- Contenido y formas del carbono orgánico del suelo:
 - Carbono orgánico oxidable total (Walkley & Black, 1934)
 - Separación por agentes complejantes (extracción con pirofosfato sódico): caracterización de complejos organoaluminicos (Al-pirofosfato) y organoférricos (Fe-pirofosfato) y carbono complejado total (C-pirofosfato)
 - Carbono ligado a la biomasa microbiana
 - Fracciones de carbono lábil: carbono soluble en agua caliente y en solución de sulfato potásico, carbono soluble en agua, carbono disuelto en el extracto de saturación
- Nitrógeno total y relación C/N del suelo
- Contenido y formas del carbono inorgánico del suelo: carbonato cálcico equivalente, y carbonatos y bicarbonatos solubles
- Actividad biológica del suelo:
 - Respiración del suelo en el campo
 - Respiración del suelo en el laboratorio (mediante incubación)
 - Medida de actividades enzimáticas implicadas en el ciclado del carbono
 - Actividad CM-celulasa
 - Actividad β -D-glucosidasa
 - Actividad deshidrogenasa

II.5.1. Dinámica del desfronde

II.5.1.1. Cuantificación de los aportes de carbono y nitrógeno por caída de hojarasca

Con objeto de cuantificar las entradas de carbono al suelo se procedió a la recogida y cuantificación del aporte de hojarasca, y se valoró su contenido en carbono y nitrógeno, estacionalmente durante dos años. Para la recogida de muestras de hojarasca se instalaron un total de 4 bandejas de 53×53 cm en cada una de las parcelas (Foto II.2).

Debido a las características fisionómicas de la vegetación, en las parcelas de *Tabaibal de Rasca* y *Matorral de Rasca* no es factible la recogida de hojarasca por este método de bandejas. En ambos casos se optó por señalar 4 cuadrículas de 1 m² en cada vértice de la parcela y se realizó un barrido de la hojarasca tres meses antes del comienzo del muestreo. En cada muestreo, se recogió directamente de estas cuadrículas la hojarasca caída a lo largo de la estación anterior (Foto II.3).

En cada muestra se separaron los tejidos de sostén (lignificados) de los tejidos foliares y reproductores (no-lignificados), se lavaron con agua desionizada, se llevaron a sequedad en estufa (60°C hasta peso constante) y se pesaron por separado. Cada muestra seca se pulverizó en un molino y se analizó su contenido en carbono y nitrógeno total utilizando un autoanalizador elemental Leco, tal y como se describe en la Sección II.4.2.

Los aportes de carbono y nitrógeno se calcularon a partir de los aportes totales de hojarasca y su contenido en estos elementos, expresados como gramos de carbono y nitrógeno en forma de hojarasca por metro cuadrado (g C m⁻² y g N m⁻²), mediante la siguiente expresión:

$$\text{Aporte de C,N- hojarasca (g m}^{-2}\text{)} = \text{aporte de hojarasca (g m}^{-2}\text{)} * \text{C,N- hojarasca (\%)} / 100$$

II.5.1.2. Composición química de la hojarasca

Durante el primer año de muestreo se analizó estacionalmente la composición química de las muestras de tejidos lignificados y no-lignificados de la hojarasca según el método de Kalra & Maynard (1991). Para ello se pesó 0,5 gramos de cada muestra, se añadieron 2 ml de HNO₃ concentrado y se llevaron a sequedad en una placa calefactora a 100°C. Posteriormente las muestras fueron incineradas en un horno mufla (30 minutos a 100°C, 1 hora a 200°C y 8 horas a 480°C) hasta la obtención de cenizas blancas. Las cenizas obtenidas fueron humedecidas con agua y llevadas a sequedad en placa calefactora a 80°C. Las sales se disolvieron con 3 ml de HCl 6N y 5 ml de agua desionizada y luego fueron filtradas para su análisis. A partir de aquí se realizaron las siguientes determinaciones:

- Calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre, zinc, níquel, cromo, cadmio, plomo y aluminio, por espectroscopía de absorción atómica
- Boro por valoración colorimétrica con azometina (Debal *et al.*, 1978)
- Fósforo por valoración colorimétrica con molibdato amónico y ácido ascórbico como agente reductor (Murphy & Riley, 1962).



Foto II.2. Bandeja de recogida de hojarasca



Foto II.3. Cuadrícula de recogida de hojarasca

El azufre se determinó por una vía distinta que evita la pérdida de este elemento por evaporación (Vargas, 2001). Dicho procedimiento consiste en añadir a 0,5 g de cada muestra 1 ml de una solución de $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al 50%, llevar a sequedad en placa calefactora (80°C) e incinerar en la mufla (4 horas a 550°C). Las cenizas son entonces disueltas con 2,5 ml de HCl 6N a 80°C y luego filtradas para su análisis. El azufre se cuantificó por turbidimetría con BaCl_2 (Bower & Wilcox, 1965).

Los resultados se expresan como gramos de cada elemento por kilogramo de muestra (g kg^{-1}).

II.5.2. Características de las raíces de los horizontes superficiales del suelo

II.5.2.1. Carbono y nitrógeno contenido en las raíces

Se tomaron muestras de suelo en los primeros 30 cm (*horizonte de enraizamiento*), en donde se localizan la mayor parte de las raíces absorbentes, con una sonda de volumen conocido, estacionalmente durante dos años. Las muestras se dejaron secar al aire y se separaron las raíces mediante un tamiz de 0,5 mm de luz de malla. Posteriormente las raíces se lavaron con agua desionizada, se llevaron a sequedad en estufa (60°C hasta peso constante) y fueron pesadas. Por último, se pulverizó la muestra seca en un molino y se analizó su contenido en carbono y nitrógeno total con un autoanalizador elemental Leco, según se describe en la Sección II.4.2. Los datos se expresan como kilogramos o gramos de carbono y de nitrógeno en forma de raíces por metro cúbico en los primeros 30 cm del suelo (g C m^{-3} y g N m^{-3} , 0-30 cm).

II.5.2.2. Composición química de las raíces

La composición química de las muestras de raíces se analizó estacionalmente durante el primer año de muestreo, siguiendo la misma metodología descrita para el análisis de las muestras de hojarasca (ver Sección II.5.1.2).

II.5.3. Contenido y formas del carbono orgánico del suelo

Los análisis de las formas de carbono orgánico del suelo se realizaron en muestras colectadas en la capa más superficial (0-15 cm) y en otra más profunda (15-30 cm), que pueden o no coincidir con horizontes edáficos.

II.5.3.1. Carbono orgánico oxidable total

Se trata de un método de determinación de todas las formas de carbono oxidable del suelo (se exceptúa el carbón negro "*black carbon*" y otras formas piromórficas no oxidables). Se analizó en la fracción de tierra fina de muestras de suelo secas al aire y finamente trituradas, mediante oxidación crómica en medio ácido y valoración del exceso de dicromato potásico con sulfato

ferroso amónico (Walkley-Black, 1934). El resultado se expresa en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}).

II.5.3.2. Carbono complejo total: extracción con pirofosfato sódico

Para determinar las formas de carbono complejadas del suelo, se realizó una extracción con pirofosfato sódico 0,1N (suelo seco al aire, tamizado a 2 mm). En el extracto obtenido se determinaron los contenidos de hierro, aluminio y carbono orgánico constituyentes de complejos organominerales (ver Sección II.2.3.7). La determinación de los metales extraídos se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica, expresándose los datos en miligramos de hierro o aluminio por kilogramo de suelo (mg Fe/Al kg^{-1}). El carbono disuelto se cuantificó por el método de Walkley-Black (1934), en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}).

II.5.3.3. Carbono ligado a la biomasa microbiana

Se determinó utilizando el método de fumigación-extracción (Vance *et al.*, 1987a, b y c). Este método se basa en la aplicación al suelo de un tratamiento con cloroformo que provoca la muerte de los microorganismos edáficos. Como resultado, el carbono integrante de los mismos pasa a encontrarse en formas lábiles que pueden extraerse del suelo mediante una solución de K_2SO_4 . Así, el método consiste en dos extracciones separadas: una en condiciones normales (A) y otra tras provocar la muerte de los microorganismos (B). La diferencia (B-A) del carbono extraído en cada caso corresponde al carbono lábil que inicialmente se encontraba en forma de biomasa microbiana.

Para la fumigación las muestras de suelo (fresco, tamizado a 2 mm) se disponen en cápsulas (5-10 g) y se introducen en un desecador, cuyo fondo se rellena con papel de filtro húmedo para evitar la desecación de las muestras durante el proceso. Dentro del desecador situamos un vaso de vidrio con 50 ml de cloroformo libre de etanol (Foto II.4), y a continuación se somete a vacío 3 ó 4 veces, dejando entrar el aire cada vez para permitir la difusión del fumigante (Foto II.5). Finalmente se cierra la válvula y se lleva el desecador a una estufa a 25°C donde permanecerá 48 horas. Transcurrido este tiempo se abre el desecador, permitiendo que se volatilice todo el cloroformo durante una hora en la campana extractora de humos.

El carbono ligado a la biomasa microbiana y liberado tras la fumigación, se extrae con una solución de K_2SO_4 0,5M en proporción 1:5 suelo:extractante, tras 30 minutos de agitación, 5 minutos de centrifugación a 2.000 r.p.m. y filtrado en filtros Albet 140. Para cada muestra se realiza además un control (A) que no ha recibido el tratamiento con cloroformo, de forma que el carbono extraído corresponde en este caso al carbono lábil no-ligado a la biomasa microbiana.

La determinación del carbono en ambos casos se realiza mediante el método de Walkley-Black (1934). Al resultado se le aplica una corrección consistente en su división por un factor k que refleja la eficiencia que se le atribuye al proceso extractivo, y que según Vance *et al.* (1987a, b y c) es $k=0,38$.

Los resultados se expresan en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g kg^{-1}).



Foto II.4. Muestras para fumigación



Foto II.5. Fumigación con cloroformo

II.5.3.4. Carbono soluble en sulfato potásico

Consideramos aquí la fracción de carbono en formas polares de bajo peso molecular, altamente solubles y de fácil mineralización, extraíbles mediante una solución de K_2SO_4 0,5M (Haney *et al.*, 2001). Esta fracción se determina en el curso del análisis del carbono ligado a la biomasa microbiana, descrito en el apartado anterior (II.5.3.3).

II.5.3.5. Carbono soluble en agua caliente

Este método descrito por Ghani *et al.* (2003) permite la extracción de una parte muy importante del carbono lábil del suelo (incluyendo una parte del carbono ligado a la biomasa microbiana), principalmente carbohidratos (40-50 % de los extractos), proteínas y aminoácidos.

El método se inicia con el pesado de 3 g de suelo (fresco, tamizado a 2 mm) en tubos de 50 ml y la adición a cada uno de 30 ml de agua desionizada. Tras agitar durante 30 minutos a 30 r.p.m. y centrifugar 20 minutos a 3.500 r.p.m., se filtra a través de un filtro de nitrocelulosa de 0,45 μm de diámetro de poro, y se separa el extracto obtenido, que incluye formas de carbono solubles a temperatura ambiente (ver Sección II.5.3.6). Al sedimento restante se le añaden otros 30 ml de agua, se agita 10 segundos en un vórtex y se mantiene durante 16 horas en un baño a 80°C. Al final del período de extracción, se repite el mismo procedimiento de centrifugación y filtrado. El extracto se analiza mediante el método de Walkley-Black (1934). Los resultados se expresan en gramos de carbono por kilogramo de suelo ($g C kg^{-1}$).

II.5.3.6. Carbono soluble en agua

Incluye la fracción de carbono soluble en agua presente en el suelo fresco, y que se obtiene en el transcurso del análisis del carbono soluble en agua caliente (Sección II.5.3.5). Se determina mediante el método de Walkley-Black (1934), expresándose los resultados en gramos de carbono por kilogramo de suelo ($g C kg^{-1}$).

II.5.3.7. Carbono disuelto en el extracto de saturación

Se determinó el contenido de carbono orgánico disuelto en extractos de saturación obtenidos usando la metodología descrita en la Sección II.2.3.4. En cada uno de los extractos se analizó el contenido de carbono orgánico disuelto mediante el método de Walkley-Black (1934). También se midió la conductividad eléctrica y el pH de los extractos, y en las muestras que resultaron salinas ($CE_{es} > 2dS m^{-1}$) se determinó el bicarbonato disuelto por valoración potenciométrica con ácido clorhídrico. Los resultados del carbono orgánico disuelto y del bicarbonato soluble se expresan en gramos de carbono por kilogramo de suelo ($g C kg^{-1}$).

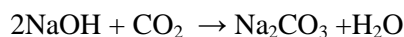
II.5.4. Contenido y formas del carbono inorgánico del suelo

El análisis del carbono inorgánico del suelo se realizó en muestras colectadas de 0-15 cm y de 15-30 cm sólo en los suelos de la zona costera (Parcelas *Tabaibal de Rasca* y *Matorral de Rasca*), los únicos con presencia de carbono en forma inorgánica. En ellas se analizó el contenido de carbono en forma de carbonato cálcico equivalente (caliza activa) utilizando un calcímetro de Bernard (ver Sección II.2.3.6), expresado en g C kg⁻¹. También se evaluó el carbono inorgánico en formas solubles (bicarbonatos y carbonatos) en un extracto de pasta saturada (Sección II.2.3.4), mediante valoración potenciométrica con ácido clorhídrico.

II.5.5. Actividad biológica del suelo

II.5.5.1. Respiración del suelo en el campo

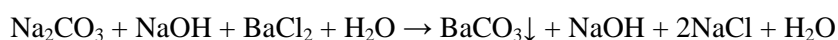
La cuantificación del CO₂ emitido por el suelo, procedente de la respiración de los microorganismos, la macrofauna y las raíces de las plantas, se llevó a cabo en el campo por el *método de las trampas de sosa*, siguiendo a Zibilske (1994). Este método se basa en la ubicación sobre el suelo de cámaras que contienen una solución de hidróxido sódico de concentración conocida. El CO₂ emitido por el suelo reacciona con el NaOH, generándose Na₂CO₃:



de modo que valorando la cantidad de NaOH que no se ha carbonatado, es posible calcular la cantidad de CO₂ desprendido.

En este caso se utilizaron cámaras de acero inoxidable abiertas en sus dos extremos, de dimensiones 22×22×30 cm (Foto II.6). Sobre la superficie del suelo se dispuso un mínimo de tres de estas cámaras, introduciendo su borde inferior en el mismo unos 2 cm. En el interior de cada cámara se colocó un recipiente con 50 ml de NaOH de normalidad conocida (variable entre 0.2N y 1N, en función de la intensidad de la respiración), sobre un trípode cuya función es minimizar el contacto con la superficie del suelo (Foto II.7 y II.8). La medida incluyó además la realización de un blanco, consistente en la ubicación de otro recipiente con la misma cantidad de solución alcalina en el interior de una cámara de 22x22x28 cm, cerrada en este caso en su parte inferior y que se dispuso también sobre la superficie del suelo. Todas las cámaras fueron cerradas herméticamente y, transcurridas 24 horas, se abrieron para extraer los recipientes de NaOH para su valoración en laboratorio.

Para ello se tomaron alícuotas de 2 ml de los recipientes de sosa y se añadió 1 ml de BaCl₂ al 20%, lo cual facilita la precipitación de los carbonatos:



La solución resultante fue valorada con HCl de normalidad comprendida entre 0,2 y 1N hasta el punto de viraje de la fenolftaleína (indicador de pH).

Los resultados se expresan como miligramos de carbono en forma de dióxido de carbono emitidos por metro cuadrado y hora durante un periodo de 24 horas ($\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 24 h).

II.5.5.2. Respiración del suelo en el laboratorio

A diferencia de la medida de la respiración en el campo, el método de la incubación estática cuantifica el CO_2 emitido sólo por la respiración de los microorganismos del suelo en condiciones óptimas de humedad y temperatura, y puede considerarse *grosso modo* como una medida de la actividad máxima potencial de los microorganismos edáficos.

El procedimiento de incubación (Gutián & Carballas, 1976) se realizó en recipientes de vidrio con cierre hermético. En su interior se introdujo un vial con 10 g de suelo húmedo cuyo contenido hídrico fue ajustado previamente a la humedad de capacidad de campo; otro con 10 ml de NaOH 0,1N; y un último con 25 ml de agua destilada para mantener una atmósfera húmeda (Foto II.9). La medición de cada muestra se realizó por triplicado, e incluyó también un total de tres blancos, consistentes en recipientes de cristal con sólo los viales de agua y NaOH 0,1 N.

Una vez cerrados, los recipientes de vidrio se llevaron a una estufa y mantuvieron a 25 °C durante 10 días. Los días 1, 2, 5, 8 y 10 después del inicio de la incubación se realizaron determinaciones del CO_2 desprendido, retirando los viales de sosa y sustituyéndolos por otros que contienen de nuevo 10 ml de NaOH 0,1N. El CO_2 emitido durante dicho periodo se calculó a partir de la concentración de sosa en los viales extraídos, de manera análoga a la indicada en la medida de respiración en campo. El resultado se expresa en miligramos de carbono emitido en forma de dióxido de carbono, por kilogramo de suelo y día, durante 10 días de incubación ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, 10 días).

A partir de los resultados obtenidos, podemos calcular el flujo de carbono en forma de CO_2 ($q\text{C-CO}_2$) como el cociente del carbono respirado y el contenido de carbono ligado a la biomasa microbiana del suelo (Sección II.5.3.3), expresado en días⁻¹:

$$q\text{C-CO}_2 (\text{d}^{-1}) = \text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1} / \text{mg C-biomasa kg}^{-1}$$

El flujo de C- CO_2 mide la tasa respiratoria relativa de la microbiota edáfica y se considera como un indicador general de su actividad biológica.

II.5.5.3. Actividades enzimáticas implicadas en el ciclado del carbono

En razón a su relevancia en el proceso del ciclado del carbono, hemos analizado la actividad de tres enzimas que intervienen en distintas etapas de ese ciclo: la actividad carboximetil-celulasa (CM-celulasa), la actividad β -D-glucosidasa y la actividad deshidrogenasa.



Foto II.6. Cámara para medir la respiración en campo



Foto II.7. Recipiente con NaOH sobre trípode



Foto II.8. Cámara con recipiente de NaOH



Foto II.9. Método de la incubación estática

Las enzimas del suelo son muy difíciles de extraer del mismo debido a encontrarse mayoritariamente inmovilizadas, unidas a los coloides minerales (arcillas) y orgánicos (sustancias húmicas). Sólo así resisten las enzimas los procesos de desnaturalización y mantienen un nivel constante y estable de actividad en el suelo. Por esta razón, el estudio de las enzimas del suelo ha sido tradicionalmente indirecto, a través de la medida de su actividad (Ladd, 1978; García & Hernández, 2003). Estos ensayos se realizan en condiciones óptimas de pH, fuerza iónica y temperatura. Los resultados así obtenidos no describen tanto la actividad real *in situ* de esa enzima, en condiciones reales de campo, como la potencialidad de cada suelo para una determinada actividad enzimática.

Los protocolos de análisis de la actividad enzimática consisten básicamente en el tratamiento de muestras de suelo en estado fresco con una concentración conocida y en exceso del sustrato de la enzima que estamos estudiando, de manera que, tras unas condiciones adecuadas de incubación, podamos cuantificar el producto liberado como consecuencia de la actividad de la enzima.

Para cada muestra se realizó el ensayo por triplicado, además de un control al cual se le añadió el sustrato sólo después de la incubación, y 4-5 patrones con diferentes concentraciones del producto. Los productos de la actividad enzimática se cuantificaron mediante colorimetría espectrofotométrica, extrapolando los valores obtenidos en las muestras a través de rectas de calibrado.

II.5.5.3.1. Actividad CM-celulasa

La descomposición de la celulosa en azúcares simples tiene lugar en el medio extracelular gracias a las enzimas conocidas como *celulasas* (*exoglucanasas* y *endoglucanasas*). Se realiza en dos etapas: transformación de la celulosa cristalina insoluble en celulosa amorfa soluble (por las *exoglucanasas*), y despolimerización de la celulosa amorfa hasta la liberación de oligosacáridos (*endoglucanasas*) (Charpentier, 1968; Coyne, 2000; García Álvarez, 2003). La medición de la actividad celulasa se basa en la valoración de los azúcares reductores generados a partir de la degradación de una celulosa amorfa (carboximetil-celulosa). No se incluye el paso de celulosa cristalina a amorfa por la extrema lentitud de este proceso, que puede durar incluso semanas.

Las determinaciones realizadas siguen el procedimiento de Schinner & Von Mersi (1990). Las muestras de suelo se incubaron durante 24 horas a 50°C en un medio tamponado a pH 5,5. Tras la incubación, se cuantificó la glucosa liberada por medio de una colorimetría del color azul originado en la reacción con hexacianuro férrico potásico. Los resultados se expresan en micromoles de glucosa por gramo de suelo y hora ($\mu\text{mol glucosa g}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

II.5.5.3.2. Actividad β -D-glucosidasa

La enzima β -D-glucosidasa es la más destacada de las *glicosidasas* del suelo, responsables de catalizar la hidrólisis de diferentes glucósidos. Las *glicosidasas* resultan esenciales en la

degradación de los carbohidratos del suelo, representando sus productos un importante aporte de energía para los microorganismos edáficos. La actividad β -D-glucosidasa constituye el paso final en la degradación de la celulosa, descomponiendo los derivados de bajo peso molecular como la celobiosa acumulados en el suelo, liberando glucosa (Coyne, 2000; Jiménez & Bonmatí, 2003).

Determinamos la actividad β -D-glucosidasa de acuerdo al método de Eivazi & Tabatabai (1988). Las muestras de suelo se incubaron con el sustrato β -D-glucopiranosido durante una hora a 37°C, en un medio tamponado a un pH que permita obtener el máximo de actividad. En nuestros ensayos el valor óptimo de pH se encuentra próximo a 5, en concordancia con lo referido por Trasar-Cepeda *et al.* (1985). El producto de la reacción enzimática es el p-nitrofenol, extraído por filtración después de la adición de CaCl₂ y tampón THAM pH 12. La concentración de p-nitrofenol se cuantificó por colorimetría del color amarillo de la solución, expresándose los resultados en micromoles de p-nitrofenol por gramo de suelo y hora ($\mu\text{mol PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

II.5.5.3.3. Actividad deshidrogenasa

La actividad deshidrogenasa de los suelos se considera como un buen indicador de su actividad microbiana, al ser los diferentes tipos de deshidrogenasas fundamentales en las etapas iniciales de oxidación de los compuestos orgánicos del suelo (Trasar-Cepeda *et al.*, 2003a).

Su determinación se basa en el uso de sales solubles de tetrazolio como aceptores artificiales de electrones. En nuestro caso hemos seguido el procedimiento de Camiña *et al.* (1997), que utiliza como sustrato el 2-p-iodofenil-3-p-nitrofenil-5-feniltetrazolio, conocido como INT. Las muestras de suelo son incubadas en medio tamponado y en oscuridad durante una hora a 40°C con INT, que se reduce por las deshidrogenasas presentes en el suelo formándose iodonitrotetrazolio formazán (INTF). La actividad deshidrogenasa se deduce de la concentración del INTF producido cuantificada por colorimetría del color naranja rojizo, después de su extracción con un solvente. Los resultados se expresan en micromoles de INTF por gramo de suelo y hora ($\mu\text{mol INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

II.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

Las técnicas de fraccionamiento físico constituyen una herramienta muy útil y complementaria a aquéllas que tratan de determinar tanto la estructura química de la materia orgánica del suelo como su tasa de ciclado (Duxbury *et al.*, 1989). El fraccionamiento físico suministra información acerca de la arquitectura de la materia orgánica, determinando el grado de procesado biológico y de oclusión física o complejación organomineral a que han sido sometidos los residuos vegetales desde su incorporación al suelo (Ellert & Gregorich, 1995; Evans *et al.*, 2001).

Los fraccionamientos físicos de la materia orgánica más comúnmente utilizados son: la separación por densidades, el estudio del carbono particulado (ligado a las diferentes fracciones

estructurales -macro y microagregados-) y del carbono ligado a las diferentes fracciones granulométricas (arenas, limos y arcillas) (Evans *et al.*, 2001). En nuestro caso nos hemos centrado en el estudio de los dos últimos.

II.6.1. Carbono ligado a las distintas fracciones estructurales: mega, macro y microagregados

La estructura del suelo es el resultado de la aglomeración de las partículas individuales que lo conforman, y debe su cohesión interna a diversos procesos y tipos de cementos (arcilla, óxidos de hierro, materia orgánica, carbonato cálcico, etc.), que generan además un espacio de huecos, conocido como porosidad del suelo (Porta *et al.*, 2008). El modo de agregación de las partículas del suelo ejerce una gran influencia sobre la tasa de ciclado del carbono (Tisdall & Oades, 1982; Oades, 1984), considerándose como un parámetro fundamental en estudios de estabilidad y permanencia de la materia orgánica. Esto se debe a la protección física de la materia orgánica por su encapsulamiento dentro de los agregados, limitando el acceso de las enzimas y los microorganismos y disminuyendo así las tasas de ciclado del carbono del suelo. La estructura incide en el comportamiento del suelo frente a numerosos procesos, entre los que destacan: la infiltración, el almacenamiento y el movimiento del agua, la entrada y salida de gases, la facilidad de laboreo, la nascencia de plántulas, la penetración y crecimiento de las raíces, la erosionabilidad del suelo y la capacidad para actuar como hábitat para los organismos (Porta *et al.*, 2008).

Para caracterizar la distribución del contenido de carbono dentro de la estructura de los suelos estudiados, se colectó una muestra superficial (8-10 cm) de suelo inalterado, por triplicado en cada uno de ellos, y se realizó su separación en tres fracciones distintas de agregados: <0,5 mm, 0,5-2 mm y >2 mm utilizando una batería de tamices. Cada una de las fracciones fue cuantificada y se analizó su contenido de carbono orgánico oxidable total por el método de Walkley-Black (1934) y de carbono complejado según la metodología descrita en la Sección II.2.3.7. El resultado se expresa en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}) para cada fracción.

II.6.2. Carbono ligado a las diferentes fracciones granulométricas: arenas, limos y arcillas

La importancia del fraccionamiento de la materia orgánica según el tamaño de las partículas del suelo radica en el hecho de que el carbono ligado a las fracciones de mayor tamaño (arenas) es generalmente más lábil que el asociado a aquéllas más pequeñas (arcillas y limos) (Tiessen & Stewart, 1983). La asociación de la materia orgánica a las partículas de arcilla y limo constituye un importante mecanismo de protección física (Theng, 1979), de gran utilidad para determinar la estabilidad de la materia orgánica del suelo. En la fracción arena la materia orgánica está formada principalmente por fibras vegetales (Gregorich & Ellert, 1993; Shulten *et al.*, 1993), con una tasa de ciclado más rápida que en las fracciones arcilla y limo (Tiessen & Stewart, 1983; Christensen, 1987, 1992; Nicolardot *et al.*, 1992).

La tierra fina (fracción del suelo cribada a través de un tamiz de 2 mm de luz de malla) se divide generalmente según los criterios USDA (*United States Department of Agriculture*) en tres intervalos de tamaños o fracciones granulométricas: **arcilla** (menor de 2 μm), **limo** (2-50 μm) y **arena** (hasta 2000 μm). La arena se subdivide a su vez en: arena muy fina (50-100 μm), fina (100-250 μm), media (250-500 μm), gruesa (500-1000 μm) y muy gruesa (1000-2000 μm).

Para el estudio del carbono ligado a las fracciones granulométricas se consideraron las siguientes fracciones: arcilla + limo (diámetro menor a 50 μm) y arena total (50-2000 μm). Su análisis se llevó a cabo en tres muestras de suelo entre 0 y 15 cm y otras tres de 15 a 30 cm en cada parcela. Inicialmente se las sometió a una dispersión con hexametáfosfato sódico y se determinó su composición granulométrica mediante el método del densímetro de Boyoucos. Las fracciones de arcilla + limo y de arena fueron separadas mediante un tamiz de 50 μm , y secadas a 60°C en estufa. Por último se analizó el contenido de carbono orgánico oxidable total de cada fracción por el método de Walkley & Black (1934), y de carbono complejado según la metodología descrita en la Sección II.2.3.7, aplicando en las muestras de arcilla + limo una corrección en función de la cantidad de sólido inerte procedente de la solución dispersante. Los datos se expresan en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}).

II.7. ESPECIACIÓN QUÍMICA DEL CARBONO DEL SUELO

La materia orgánica del suelo engloba a un conjunto heterogéneo de sustancias, que incluyen: la materia constituyente de la biomasa microbiana y los restos vegetales senescentes; una materia orgánica heredada, levemente transformada, con características químicas aún reconocibles, desde azúcares sencillos y aminoácidos hasta polisacáridos y proteínas; y una materia humificada, ya muy transformada, y que ha perdido las características químicas de sus precursores. Frente a la complejidad de formas de carbono orgánico del suelo, las formas inorgánicas se limitan a sales de tipo carbonato, fundamentalmente calcita aunque también dolomita y calcita magnésica (Porta *et al.*, 2003).

Una de las aproximaciones más utilizadas en el estudio de la materia orgánica del suelo es su separación en fracciones a las que se atribuye un distinto grado de evolución, complejidad molecular y estabilidad biogeoquímica. La especiación más clásica es la que distingue entre **ácidos húmicos**, **ácidos fúlvicos** y **huminas**, en función de su distinta solubilidad en disoluciones ácidas y alcalinas. Estas fracciones se diferencian por sus tamaños moleculares y contenido en grupos funcionales, y su proporción relativa es reflejo del grado de humificación de la materia orgánica del suelo (Duchaufour & Jacquin, 1966; Sposito, 1989; Stevenson, 1982; Swift, 1996; Porta *et al.*, 2003).

Como unidad de este estudio escogimos el perfil de cada suelo y, dentro de éste, sus distintos horizontes, que se interpretan como unidades edafogenéticas diferenciadas. En cada horizonte se cuantificó el carbono orgánico oxidable y se separaron y cuantificaron las fracciones de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. También se determinó en su caso el contenido de carbono inorgánico, en forma de caliza en sentido amplio (según la metodología descrita en la Sección II.2.3.6). La especiación se completó con un análisis del carbono total a fin de identificar la presencia de formas de carbono recalcitrantes poco oxidables, de difícil

determinación por métodos convencionales (Goldberg, 1985; Haumaier & Zech, 1995; Schmidt *et al.*, 1999).

II.7.1. Carbono total del suelo

Incluye todas las formas de carbono, tanto orgánicas como inorgánicas. Su determinación se realizó utilizando un analizador elemental Leco (ver Sección II.4.2), en muestras de tierra fina previamente pulverizadas en mortero de ágata. El resultado se expresa en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}).

II.7.2. Carbono orgánico oxidable total

Engloba a la mayor parte de la materia orgánica del suelo. Se cuantificó por el método de oxidación con dicromato potásico en medio sulfúrico (Walkley-Black, 1934) en muestras de tierra fina previamente pulverizadas en mortero de ágata, expresándose los resultado en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}).

II.7.3. Carbono orgánico no-oxidable

Incluye el carbón negro (*black carbon*) y otras formas piromórficas no-oxidables por los medios habituales. Su contenido puede estimarse de manera indirecta a partir de los procedimientos anteriores, calculado como la diferencia entre el contenido de carbono total y la suma de los contenidos de carbono orgánico oxidable y carbono inorgánico, expresándose el resultado en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}):

$$\text{C orgánico no-oxidable} = \text{C total} - \text{C orgánico oxidable} - \text{C inorgánico}$$

II.7.4. Carbono humificado

La extracción de la materia orgánica humificada se llevó cabo utilizando una solución compuesta en proporciones iguales por pirofosfato sódico 0,1M e hidróxido sódico 0,1M. La proporción suelo:extractante, así como la duración y el número de ciclos de extracción (entre 2 y 4) fueron distintos en cada caso, determinados en un ensayo previo a fin de asegurar la extracción de la práctica totalidad de la materia orgánica humificada.

La separación de los ácidos fúlvicos (solubles en soluciones ácidas y alcalinas) y húmicos (solubles sólo en soluciones ácidas) se llevó a cabo mediante la acidificación con ácido sulfúrico concentrado y el filtrado del extracto. El residuo de suelo sobrante, que contiene las huminas del suelo, se lavó con agua desionizada y se secó en estufa a 80°C. Finalmente, el carbono de las tres fracciones (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas) se determinó por el método de Walkley & Black (1934), expresándose los datos en gramos de carbono por kilogramo de suelo (g C kg^{-1}).

II.7.5. Caracterización química de la materia orgánica del suelo

A fin de obtener una mejor comprensión de la naturaleza química de los componentes orgánicos del suelo, se realizó un estudio de las fracciones húmicas de la materia orgánica a través de técnicas de espectroscopía de absorción infrarroja (FT-IR), resonancia magnética nuclear (RMN) y pirólisis degradativa (Py/GC/MS). Este estudio se llevó a cabo en cuatro muestras de suelo, seleccionadas de acuerdo a los criterios que se exponen en la Sección VII.3.

II.7.5.1. Extracción y purificación de los ácidos húmicos y fúlvicos

En cada muestra de suelo (seco al aire, tamizado a 2 mm, en cartucho de celulosa) se realizó una extracción previa de los lípidos libres, no complejados con la fracción húmica, con objeto de evitar interferencias en los análisis químicos posteriores. Para ello se pesó una cantidad de 20-30 g de suelo y se sometió a una extracción con una mezcla de disolvente diclorometano / metanol ($\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{CH}_3\text{OH}$) (2:1) durante 48 horas en un extractor Soxhlet de 500 ml (Foto II.10).

A continuación se llevó a cabo la obtención del extracto húmico, mediante una disolución extractante compuesta en proporciones iguales por pirofosfato sódico 0,1M e hidróxido sódico 0,1M, en ciclos consecutivos hasta extraer toda la materia orgánica humificada.

A la disolución sobrenadante alcalina pardo-oscura obtenida se añadió HCl concentrado, para separar los ácidos fúlvicos, solubles en ácido, de los ácidos húmicos, que precipitan. Los ácidos húmicos se recogieron por centrifugación (4.500 rpm) y se redisolvieron en NaOH 0,5M, para volver a centrifugarlos a 20.000 rpm y eliminar parte de la fracción mineral. Se añadió HF/HCl 1M (1:1) a los extractos y, tras unas 8 horas y posterior centrifugación (4.500 rpm), se obtuvieron los ácidos húmicos libres de minerales. La purificación de los ácidos húmicos se completó mediante diálisis en bolsas de celofán sumergidas en agua desionizada, renovándose ésta cada 12 horas hasta no detectar reacción con cloruros con una solución de nitrato de plata, proceso que dura entre 3 y 6 días (Foto II.11) (Almendros *et al.*, 1982; González-Vila *et al.*, 1999). Finalmente, las muestras dializadas fueron depositadas en cápsulas de porcelana, congeladas y liofilizadas (Foto II.12).

La solución ácida que contiene los ácidos fúlvicos se hizo pasar a través de un embudo Büchner con una capa de carbón activo, quedando los ácidos fúlvicos retenidos en ella (Forsyth, 1947). A continuación se eliminaron los cloruros de la muestra lavando repetidas veces con agua desionizada, aplicando vacío para favorecer el proceso, hasta obtener reacción negativa con nitrato de plata. Seguidamente, los ácidos fúlvicos fueron recuperados con una solución de NaOH 0,1N, que se hizo pasar a través de la capa de carbón activo hasta que el extracto obtenido apareció incoloro. La solución resultante se mezcló con una resina de intercambio catiónico (con ácidos sulfónicos como grupos funcionales) para eliminar el sodio de la muestra (a razón de 1cm^3 de resina por cada miliequivalente de NaOH empleado en la recuperación de los ácidos fúlvicos) y se agitó vigorosamente. Se dejó depositar la resina y se midió el pH en el sobrenadante, repitiendo el proceso hasta conseguir pH ácido (2-3), se filtró luego con lana de vidrio y se recogió en una cápsula de porcelana. Por último, la muestra se congeló y se liofilizó (Foto II.12).



Foto II.10. Sistema de extracción de lípidos Soxhlet



Foto II.11. Muestras de ácidos húmicos preparadas para diálisis



Foto II.12. Muestras de ácidos húmicos (izquierda) y ácidos fúlvicos (derecha) liofilizados

II.7.5.2. Espectroscopia de infrarrojos con transformada de Fourier (FT-IR)

Esta técnica permite analizar cualitativa y semicuantitativamente los suelos (Gressel *et al.*, 1995; McColl & Gressel, 1995), identificando distintos grupos funcionales debido a su resonancia a diferentes frecuencias y a la absorbancia de luz infrarroja a longitudes de onda específicas.

La espectroscopía de absorción infrarroja (IR) mide la excitación vibracional de los átomos constituyentes de los distintos grupos funcionales (O-H, C-C, C=C, C=O, C-H, N-H...) alrededor de los enlaces que los conectan, que se manifiestan en transiciones de energía en el rango entre los 600 y 4.000 cm^{-1} . La posición de las líneas de absorción depende del tipo de grupos funcionales presentes y el espectro en su conjunto representa una identificación única de la molécula. Al absorber radiación IR, las moléculas experimentan vibraciones (movimientos) conocidas como de tensión *-stretching-* (donde se modifica la distancia entre átomos) y de flexión *-bending-* (se modifica el ángulo de enlace). Los modos de vibración de un carbono tetraédrico incluyen: tensión simétrica y asimétrica y diversos tipos de flexión denominados de tijera *-scissoring-*, balanceo *-rocking-*, torsión *-twisting-* o aleteo *-wagging-*.

La complejidad introducida por estas posibilidades hace muy difícil la interpretación directa de los espectros de IR cuando la muestra presenta estructura heterogénea o compleja. A pesar de ello, la espectroscopía de IR es de gran utilidad, ya que las bandas vibracionales de diversos grupos funcionales aparecen a frecuencias características pudiendo ser utilizadas en su conjunto como una 'huella dactilar' de un tipo de compuesto. Las vibraciones de flexión son menos intensas y se suelen solapar unas a otras dando conjuntos de bandas complicados.

Los espectros infrarrojos se obtuvieron en un espectrofotómetro Bruker IFS28 a partir de pastillas preparadas con 3 mg de muestra (suelo total, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) y 200 mg de bromuro potásico. Para la preparación de las pastillas las muestras fueron previamente homogeneizadas en un mortero de ágata y llevadas a sequedad a 100°C en estufa.

El rango de adquisición de los espectros fue de 4.000 a 400 cm^{-1} . Para aumentar la resolución de los mismos y facilitar el reconocimiento de patrones de bandas típicos de

determinadas estructuras, se aplicó un procedimiento matemático consistente en la sustracción digital del espectro original de un múltiplo positivo de su segunda derivada (Rosenfeld & Kak, 1982; Almendros & Sanz, 1992).

II.7.5.3. Resonancia magnética nuclear de ^{13}C (RMN ^{13}C)

La espectroscopía de resonancia magnética nuclear de ^{13}C en estado sólido (RMN ^{13}C) proporciona información sobre la estructura y la proporción relativa de las diferentes unidades estructurales de las sustancias húmicas. La aplicación de la denominada polarización cruzada (CP) y rotación en ángulo mágico (MAS) a la RMN ^{13}C en estado sólido permite obtener espectros de alta resolución en tiempos de adquisición razonables. La CPMAS NMR ^{13}C tiene una resolución menor que la espectroscopía de RMN en estado líquido, pero tiene la ventaja de poder aplicarse al análisis de todo tipo de muestras poco solubles, como el suelo total o sus fracciones húmicas, sin necesidad de una extracción previa con disolventes orgánicos, evitando así problemas de alteración, pérdida de material y extracción selectiva (Barton & Schnitzer, 1963; Neyroud & Schnitzer, 1972; González-Vila *et al.*, 1976; Polvillo, 2003).

Con objeto de obtener información más detallada sobre la estructura química de las sustancias húmicas se adquirieron los espectros de desfase bipolar (DD). Estos espectros se obtienen mediante una secuencia de adquisición en la que se introduce un retardo (*delay time*) entre el pulso correspondiente a la polarización cruzada y la etapa de adquisición. Durante este tiempo (normalmente de 40 a 100 μs) los núcleos de carbono no son objeto de desacoplamiento selectivo (*decoupler off*), por lo que la intensidad de la señal de los carbonos con fuertes interacciones bipolares con los hidrógenos disminuye más rápidamente que en los demás tipos de carbono. Las interacciones bipolares son más débiles en los carbonos no protonados (se encuentran más alejados de los hidrógenos) y en los carbonos que experimentan movimientos moleculares en estado sólido. Por lo tanto, un espectro de DD revela los carbonos no protonados y móviles, aportando información sobre regiones del espectro en las que se solapan señales (Polvillo, 2003).

Los espectros de RMN ^{13}C de las muestras (suelo total, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos) se obtuvieron a 2,3 Tesla con un espectrómetro Bruker MSL 100 a 25,1 MHz en ^{13}C , bajo condiciones de polarización cruzada (CP) y rotación en el ángulo mágico (MAS). El intervalo entre pulsos fue de 3 s, y el tiempo de contacto de 1 a 1,5 ms. Para cada espectro se acumularon entre 10^4 y 10^5 FID (*Free Induction Decays*). La anchura de barrido fue de 125 kHz y la de filtro de 25 kHz. El tiempo de adquisición fue de 12,3 ms. La frecuencia de rotación en el ángulo mágico fue de 4,3 kHz, empleando un rotor estándar de doble cavidad donde se pusieron 300 mg de muestra. Los espectros con desfase bipolar se obtuvieron aplicando un tiempo de relajación de 70 μs , desactivando la secuencia de desacoplamiento de protón, entre el tiempo de contacto y el tiempo de adquisición. En la mitad del tiempo de relajación se aplicó un pulso de 180° a los núcleos de ^{13}C para minimizar las distorsiones de fase. Las escalas de desplazamiento químico se calibraron (0 ppm) con tetrametilsilano (TMS).

II.7.5.4. Pirólisis / cromatografía de gases / espectrometría de masas (Py/GC/MS)

La pirólisis es una técnica molecular que permite caracterizar polímeros y dilucidar la estructura de materiales orgánicos no volátiles, incluyendo aquellos que forman parte de la materia orgánica del suelo (Simmler & Schulten, 1989; Beyer *et al.*, 1993; Schulten & Leinweber, 1993; Leinweber & Schulten, 1993, 1995).

Las muestras son térmicamente degradadas durante el proceso, y los productos liberados durante la pirólisis analizados por cromatografía de gases. Los picos de los cromatogramas se identifican por espectrometría de masas de modo que, mediante el programa informático adecuado y utilizando librerías de compuestos químicos, es posible identificar aquellos compuestos más probables basándonos en su peso molecular. La identificación de estos monómeros puede ayudar a generar modelos estructurales del polímero del que proceden.

La pirólisis se realizó usando un pirolizador de doble *shot* (Laboratorios Frontier, modelo 2020) acoplado a un sistema GC/MS Agilent 6890. La pirólisis de doble *shot* combina la desorción térmica y la pirólisis, permitiendo medir primero los compuestos volátiles de los materiales poliméricos, para seguidamente realizar la pirólisis, centrada en las macromoléculas y compuestos no volátiles, sin necesidad de utilizar una segunda muestra. Por medio de esta técnica las mezclas de polímeros pueden ser analizadas, y se pueden identificar las microestructuras, como los grupos terminales.

En un primer paso, se llevó a cabo una desorción térmica incrementando la temperatura inicial de 100°C a una tasa de 20°C min⁻¹ hasta una temperatura final de 260°C durante 3 min. En un segundo paso, la muestra fue calentada a temperatura de pirólisis, 610°C durante 1 min. Los fragmentos obtenidos en la pirólisis se separaron en un cromatógrafo de gases (GC) e identificaron en un espectrómetro de masas (MS). Las condiciones GC/MS fueron las mismas tanto para los experimentos de desorción como de pirólisis: el cromatógrafo de gases fue equipado con una columna capilar de sílice fundida HP 5 MS (30 m x 250 µm x 0,25 µm de espesor de lámina), la temperatura del horno se mantuvo a 50° durante 1 min., luego aumentada hasta 100°C a 30°C min⁻¹, de 100 a 300°C a 10°C min⁻¹, e isoterma a 300°C durante 10 min., usando una tasa de calentamiento de 10°C min⁻¹ en el modo de escaneo. Se usó helio como gas portador con un flujo controlado de 1 mL min⁻¹, y un detector selectivo de masas Agilent 5973, y se obtuvieron los espectros con una energía de ionización de 70 eV.

Los productos de pirólisis fueron identificados por comparación de sus espectros de masas con los almacenados en las librerías de la estación de datos (Wiley, NIST -*National Institute of Standard and Technology*- y NBS -*National Bureau of Standard*-) o con espectros anteriormente publicados. La estimación del área de los picos de los diferentes productos de pirólisis se calculó en forma de abundancias totales, teniendo en cuenta que la suma de las áreas de todos ellos corresponde al 100% del área del cromatograma del ión total (TIC).

II.8. ANÁLISIS DE DATOS

El tratamiento estadístico de los datos se realizó utilizando los programas SPSS *para Windows* v. 11.5 (SPSS, 2003) y *CANOCO para Windows 4.5* (Ter Braak & Šmilauer, 2002). Las técnicas empleadas incluyen el Análisis de la Varianza de uno o más factores y el Análisis de Componentes Principales.

II.8.1. Análisis de la Varianza

Utilizamos el Análisis de la Varianza o ANOVA para determinar la significación de las diferencias observadas en distintas propiedades estudiadas, en función de uno o más factores. Entre las variables que analizamos por esta técnica destacan las sometidas a un seguimiento temporal: medidas de actividad biológica, contenidos de distintas fracciones de carbono, stock de raíces, desfronde... Los factores cuya influencia se estudió incluyen el tiempo, a dos escalas distintas: intraanual (estacional) e interanual; y en su caso, la profundidad a la que se recoge la muestra de suelo. También se analizaron mediante ANOVA las diferencias que se observan entre las distintas parcelas ubicadas en cada ecosistema, si bien dichas diferencias han de atribuirse tanto al distinto grado de madurez ecológica, que constituye el criterio de selección de cada una de ellas, como a las particularidades intrínsecas de cada localidad de estudio.

Cada una de las variables estudiadas mediante ANOVA fue analizada previamente para comprobar los requisitos de normalidad y homocedasticidad (homogeneidad de varianzas). En caso de no cumplirse, se procedió a su transformación utilizando un cálculo adecuado a dicho fin. Entre las transformaciones utilizadas se cuentan: $1/x^2$, $1/x$, $1/\sqrt{x}$, $\ln x$, \sqrt{x} , x^2 y x^3 , en función de la distribución de frecuencias observada. El modelo de ANOVA incluyó tanto los efectos principales de cada uno de los factores como sus interacciones. Sólo se estudiaron las interacciones de primer orden, dada la compleja interpretación de la interacción significativa de más de dos factores. Las diferencias significativas entre grupos particulares dentro de un mismo factor estadísticamente significativo, se establecieron utilizando pruebas *post-hoc* como los tests de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) y de Tukey (SPSS, 2003).

II.8.2. Análisis de Componentes Principales

El Análisis de Componentes Principales, más conocido por sus siglas inglesas PCA, es un método estadístico multivariante que permite reducir la variación existente en una matriz de datos, a menudo compleja y de difícil interpretación, a unas pocas variables artificiales, llamadas *componentes principales*, que condensan la mayor parte de la información (Rao, 1964). Se trata por ello de un método idóneo para realizar un resumen de los datos y reflejar las interrelaciones entre las distintas variables. El resultado de un PCA suele plasmarse en un diagrama de dispersión de los valores de los componentes principales para cada muestra, de manera que las muestras similares aparecen próximas en el diagrama y las dispares, separadas. También es frecuente incluir en los diagramas una representación de las variables estudiadas, de

tal modo que su proyección sobre los ejes revela su correlación con los componentes principales y los gradientes ambientales que representan.

En este trabajo estudiamos mediante PCA conjuntos de datos tales como la composición de la hojarasca, el fraccionamiento de carbono o las medidas de actividad biológica, a fin de visualizar la similitud o disimilitud de las muestras estudiadas; y la correlación de las variables incluidas en el análisis, entre sí y con los principales gradientes ambientales.

III. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SUELOS Y LA VEGETACIÓN

III.1. INTRODUCCIÓN

Los suelos del área de estudio fueron clasificados según la Base de Referencia Mundial para los Recursos de Suelos (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y la Taxonomía de Suelos americana (Soil Survey Staff, 2006) según los datos analíticos obtenidos de los perfiles de suelo y de cada uno de sus horizontes (ver Sección II.2). La vegetación se caracterizó mediante la medida de diferentes parámetros biométricos, se determinó la estructura de la vegetación (espectro biológico) y se identificó la comunidad vegetal y la serie de vegetación en cada caso (ver Sección II.3). A continuación se exponen los resultados obtenidos en las distintas zonas de estudio, mostrándose los datos de los perfiles de suelos, los correspondientes diagramas de Thornthwaite, los parámetros descriptores de la vegetación medidos en cada parcela (cobertura, densidad y fitomasa aérea), los inventarios de la composición florística y los contenidos totales de fitomasa subterránea (raíces) y necromasa (mantillo).

III.2. PARCELA TABAIBAL DE RASCA

Características generales

Situación: Malpaís de Rasca (Arona, Tenerife)

Coordenadas UTM: 333161 / 3099209

Altitud: 18 m.s.m.

Posición topográfica: Barranquillo en llanura costera

Pendiente: Llano (0-3%)

Orientación: Sureste

Clima

- **Régimen hídrico:** Árido
- **Régimen térmico:** Isohipertérmico

Material geológico: Coladas basálticas de la Serie III (Pleistoceno superior)

Pedregosidad superficial: Gravas muy abundantes (15-90%) y muchas piedras (3-15%) basálticas

Afloramientos rocosos: Abundantes (25-30%) coladas escoriáceas

Profundidad útil del suelo: Medianamente profundo (50-100 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** No se observa
- **Eólica:** Extrema e intensa (>75% de superficie afectada)

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Moderado a rápido
- **Externo:** Lento

Influencia antrópica. Usos: Baja. Espacio Natural Protegido (Reserva Natural Especial de Malpaís de Rasca)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila inframediterránea desértica tinerfeña árida de la tabaiba dulce (*Euphorbia balsamifera*): *Ceropegio fuscae* - *Euphorbierto balsamiferae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Tabaibal dulce halófilo (*Ceropegio fuscae* - *Euphorbietum balsamiferae* subass. *salsoletosum divaricatae*)
- **% de recubrimiento:** Suelo parcialmente cubierto (10-40%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Solonchak hipersálico (sódico, clorídico)
- **Soil Taxonomy:** Haplosalid típico

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|------------------|------------|--|
| AB _w | 0-22 | Pardo opaco (7.5YR 6/3), ligeramente húmedo; textura franca; estructura masiva que se resuelve a poliédrica subangular fina; muy friable; pocas grietas horizontales muy finas, pocos canales muy finos y pocas cavidades finas; frecuentes gravas basálticas y pumíticas irregulares, algunas piedras basálticas coriáceas e irregulares; abundantes raíces muy finas y pocas finas y medias, muertas, vivas no funcionales y residuos en canalículos; reacción HCl positiva y débil sobre concreciones en la superficie de algunas gravas; límite con el horizonte inferior neto y ondulado. |
| B _w | 22-35 | Pardo opaco (7.5YR 6/3), ligeramente húmedo; textura franca; estructura poliédrica subangular fina; muy friable; frecuentes canales y cavidades finas; frecuentes gravas basálticas y pumíticas y algunas piedras basálticas; frecuentes raíces muy finas y pocas finas, vivas no funcionales, muertas fin de ciclo y residuos en canalículos; concentraciones de carbonatos muy escasas y filiformes; reacción HCl positiva débil, sólo en pequeñas acumulaciones locales; límite con el horizonte inferior neto y ondulado. |
| B _w C | 35-80 | Naranja opaco (7.5YR 6/4), ligeramente húmedo; textura franco arenosa; estructura grumosa muy fina; muy friable; frecuentes cavidades finas y frecuentes poros interagregados irregulares muy finos; frecuentes gravas basálticas y pumíticas irregulares y abundantes piedras basálticas e irregulares; frecuentes raíces muy finas, muertas fin de ciclo y residuos en canalículos; reacción HCl positiva sólo en pequeñas y escasas acumulaciones filiformes de carbonatos; límite con el horizonte inferior muy abrupto y ondulado. |

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (kg ha ⁻¹) |
|--|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Euphorbia balsamifera</i> Ait. | 16,1 | 1.550 | 609 |
| <i>Euphorbia canariensis</i> L. | 1,6 | 50 | 412 |
| <i>Lycium intricatum</i> Boiss. | <1 | 50 | 16,1 |
| <i>Schizogyne sericea</i> (L. fil.) DC. | 3,1 | 700 | 60,0 |
| Caméfitos | | | |
| <i>Frankenia capitata</i> Webb & Berth. | 2,4 | 4.500 | 27,5 |
| <i>Limonium pectinatum</i> (Ait.) O. Kuntze | <1 | 250 | 8,94 |
| <i>Polycarpha aristata</i> (Aiton) DC | <1 | 100 | 0,004 |
| <i>Polycarpha nivea</i> (Ait.) Webb | <1 | 1.850 | 2,41 |
| <i>Reseda scoparia</i> Brouss. ex Willd. | 6,1 | 2.950 | 181 |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Hyparrhenia sinaica</i> (Delile) Llaurodó ex G. López | <1 | 50 | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Aizoon canariense</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Heliotropium ramosissimum</i> (Lehm.) DC. | <1 | 1.250 | 0,018 |
| <i>Lobularia libyca</i> (Viv.) C.F.W. Meissn. | <1 | - | - |
| <i>Mesembryanthemum nodiflorum</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Ophioglossum lusitanicum</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Senecio glaucus</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Ononis tournefortii</i> Coss. | <1 | - | - |

| | |
|-------------------------------|------|
| Fitomasa aérea | 1,32 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 5,47 |
| Necromasa (mantillo) | 0,19 |

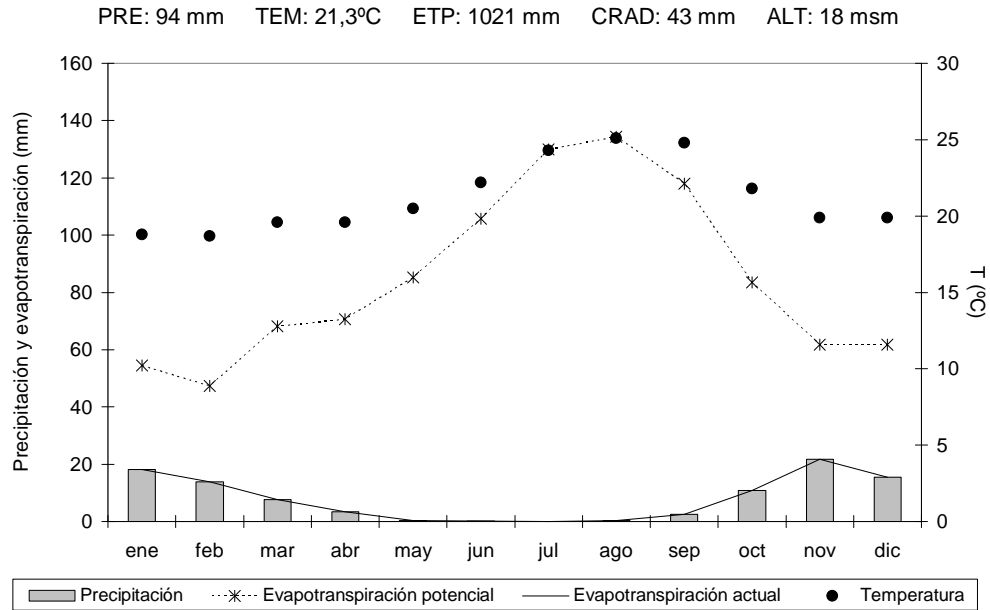


Figura III.1. Parcela Tabaibal de Rasca. Diagrama de Thornthwaite

| | | Horizonte | | |
|--|-------------------------------|-----------------|----------------|------------------|
| | | AB _w | B _w | B _w C |
| Profundidad (cm) | | 0-22 | 22-35 | 35-80 |
| pH | H ₂ O | 8,5 | 8,1 | 8,0 |
| | KCl | 7,8 | 7,7 | 7,6 |
| Cationes cambiabiles (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 15,5 | 34,3 | 11,2 |
| | Mg ²⁺ | 4,0 | 3,8 | 3,7 |
| | K ⁺ | 20,7 | 18,6 | 10,3 |
| | Na ⁺ | 21,4 | 27,0 | 10,5 |
| | CCC | 57,6 | 62,3 | 36,7 |
| PSI (%) | | 37,0 | 43,0 | 29,0 |
| Saturación de bases (%) | | 100 | 100 | 98 |
| Cationes y aniones solubles (mEq L ⁻¹) | Ca ²⁺ | 50,9 | 178,0 | 247,2 |
| | Mg ²⁺ | 21,4 | 59,0 | 80,0 |
| | K ⁺ | 3,5 | 5,6 | 5,2 |
| | Na ⁺ | 57,2 | 134,4 | 173,9 |
| | Cl ⁻ | 77,8 | 293,6 | 308,4 |
| | SO ₄ ²⁻ | 25,2 | 31,7 | 27,6 |
| | HCO ₃ ⁻ | 2,2 | 1,6 | 1,2 |
| CE _{es} (dS m ⁻¹) | | 10,0 | 29,2 | 32,1 |
| Humedad saturación (%) | | 41,0 | 41,4 | 39,8 |
| CaCO ₃ (g kg ⁻¹) | | 0,6 | 2,0 | 1,1 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 3,2 | 2,5 | 1,1 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,1 | 1,1 | - |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elem. gruesos | 437 | 383 | 439 |
| | Arcillas | 90 | 76 | 70 |
| | Limos | 179 | 229 | 98 |
| | Arenas | 732 | 695 | 833 |
| | Textura | Franco-arenosa | Franco-arenosa | Arenosa-franca |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 201 | 209 | 126 |
| | 1.500 kPa | 86 | 92 | 64 |
| | Agua útil | 115 | 117 | 62 |



Foto III.1. Panorámica de la parcela *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo



Foto III.2. Perfil *Tabaibal de Rasca*: Solonchak hipersálico (sódico, clorídico) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Haplosalid típico (Soil Survey Staff, 2006)

III.3. PARCELA *MATORRAL DE RASCA*

Características generales

Situación: Malpaís de Rasca (Arona, Tenerife)

Coordenadas UTM: 332530 / 3099405

Altitud: 8 m.s.m.

Posición topográfica: Llanura costera

Pendiente: Llano (0-3%)

Orientación: Sur

Clima

- **Régimen hídrico:** Arídico
- **Régimen térmico:** Isohipertérmico

Material geológico: Coladas basálticas de la Serie III (Pleistoceno superior)

Pedregosidad superficial: Gravas muy abundantes (15-90%) y muy pocas piedras (<1%) basálticas

Afloramientos rocosos: No se observa

Profundidad útil del suelo: Medianamente profundo (50-100 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar ligera (<10% de superficie afectada)
- **Eólica:** Extrema e intensa (>75% de superficie afectada)

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Lento
- **Externo:** Impedido

Influencia antrópica. Usos: Media (proximidad de una pista de tierra, terrenos removidos). Espacio Natural Protegido (Reserva Natural Especial de Malpaís de Rasca, Bien de Interés Cultural)

Observaciones: Evidencias superficiales de encharcamiento y posterior evaporación. Presencia de costra de sellado

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila inframediterránea desértica tinerfeña árida de la tabaiba dulce (*Euphorbia balsamifera*): *Ceropegio fuscae* - *Euphorbierto balsamiferae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Matorral de sustitución de salado y ahulaga (*Launaeo arborescentis* - *Schyzogynetum sericeae*)
- **% de recubrimiento:** Suelo parcialmente cubierto (10-40%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Solonetz háplico (arídico)
- **Soil Taxonomy:** Natrargid ácuico

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|------------------|------------|---|
| B _w A | 0-22 | Amarillo anaranjado opaco (10YR 6/4), seco; textura franco-arenosa; estructura masiva; blando; frecuentes grietas muy finas y finas y algunas cavidades finas; algunas gravas basálticas; frecuentes raíces finas, vivas y funcionales, abundantes muy finas, muertas, vivas no funcionales y residuos en canalículos; reacción HCl positiva muy débil; límite con el horizonte inferior neto y ondulado. |
| B _t | 22-55 | Amarillo anaranjado opaco (10YR 6/4), seco; textura limo-arenosa; estructura masiva; muy duro; muy pocas grietas muy finas y pocos microporos; algunas gravas basálticas; pocas raíces gruesas, vivas y funcionales, pocas muy finas, muertas, residuos en canalículos; presencia de artrópodos (tisanuros); reacción HCl positiva muy débil; límite con el horizonte inferior gradual y ondulado. |
| B _t C | 55-70 | Pardo opaco (7.5YR 5/4), ligeramente húmedo; textura areno-limosa; estructura masiva; muy firme; muy pocas grietas y pocos microporos; abundantes gravas basálticas irregulares; presencia de tisanuros; reacción HCl negativa; límite con el horizonte inferior abrupto y plano. |

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (kg ha ⁻¹) |
|---|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Launaea arborescens</i> (Batt.) Murb. | 8,6 | 1.100 | 313 |
| <i>Schizogyne sericea</i> (L. fil.) DC. | 18,0 | 23.050 | 818 |
| Caméfitos | | | |
| <i>Frankenia capitata</i> Webb & Berth. | 8,0 | 51.500 | 146 |
| <i>Limonium pectinatum</i> (Ait.) O. Kuntze | <1 | 100 | 0,37 |
| <i>Patellifolia procumbens</i> (Chr. Sm. ex Hornem.) S. | <1 | - | - |
| <i>Reseda scoparia</i> Brouss. ex Willd. | 8,0 | 19.285 | 327 |
| Terófitos | | | |
| <i>Aizoon canariense</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Senecio glaucus</i> L. | <1 | - | - |

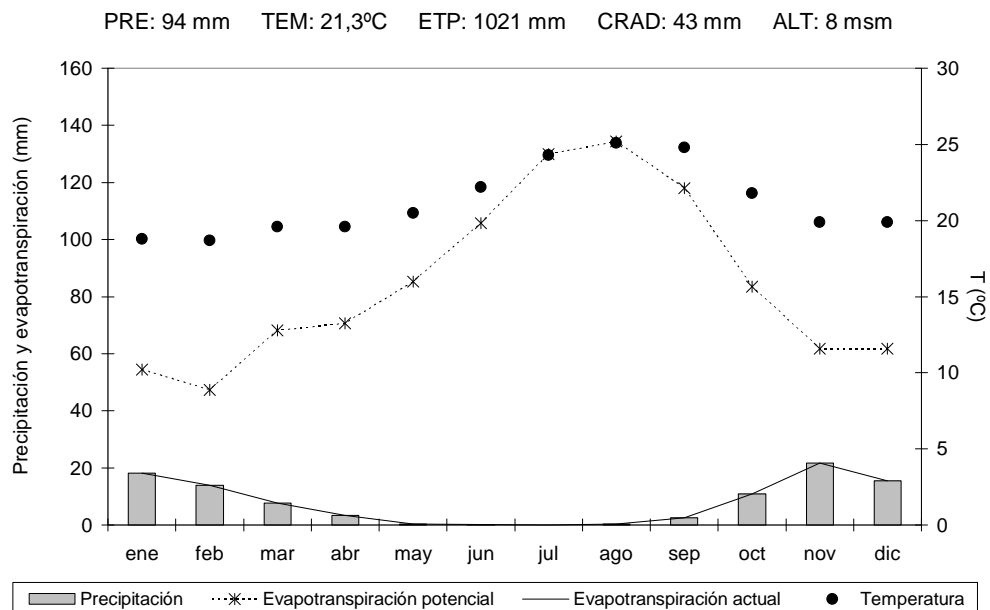


Figura III.2. Parcela *Matorral de Rasca*. Diagrama de Thornthwaite



Foto III.3. Panorámica de la parcela *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución



Foto III.4. Perfil *Matorral de Rasca*: Solonetz háptico (árido) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Natrargid ácuico (Soil Survey Staff, 2006)

| | |
|-------------------------------|------|
| Fitomasa aérea | 1,60 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 1,15 |
| Necromasa (mantillo) | 0,17 |

| | | Horizonte | | |
|--|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|
| | | B _w A | B _t | B _t C |
| Profundidad (cm) | | 0-22 | 22-55 | 55-70 |
| pH | H ₂ O | 9,3 | 9,8 | 10,0 |
| | KCl | 7,8 | 7,7 | 7,7 |
| Cationes cambiabiles ($cmol\ (+)\ kg^{-1}$) | Ca ²⁺ | 13,5 | 9,1 | 5,7 |
| | Mg ²⁺ | 3,6 | 4,5 | 5,3 |
| | K ⁺ | 16,3 | 8,6 | 9,8 |
| | Na ⁺ | 19,3 | 9,9 | 15,0 |
| | CCC | 45,6 | 31,1 | 42,6 |
| PSI (%) | | 42,4 | 32,0 | 35,2 |
| Saturación de bases (%) | | 100 | 100 | 80 |
| Cationes y aniones solubles ($mEq\ L^{-1}$) | Ca ²⁺ | 4,9 | - | - |
| | Mg ²⁺ | 2,5 | - | - |
| | K ⁺ | 1,3 | - | - |
| | Na ⁺ | 3,2 | - | - |
| | Cl ⁻ | 25,9 | - | - |
| | SO ₄ ²⁻ | 3,6 | - | - |
| | HCO ₃ ⁻ | 2,9 | - | - |
| CE _{es} ($dS\ m^{-1}$) | | 3,4 | 0,7 | 0,8 |
| Humedad saturación (%) | | 30,1 | 14,9 | 19,2 |
| CaCO ₃ ($g\ kg^{-1}$) | | 1,7 | 1,8 | 1,0 |
| C oxidable total ($g\ kg^{-1}$) | | 1,9 | 0,9 | 0,8 |
| N total ($g\ kg^{-1}$) | | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| Densidad aparente ($Mg\ m^{-3}$) | | 1,3 | 1,3 | 1,4 |
| Granulometría ($g\ kg^{-1}$) | Elem. gruesos | 260 | 150 | 370 |
| | Arcillas | 94 | 136 | 166 |
| | Limos | 209 | 296 | 211 |
| | Arenas | 697 | 569 | 623 |
| | Textura | Franco-arenosa | Franco-arenosa | Franco-arenosa |
| Capacidad de retención de agua ($g\ kg^{-1}$) | 33 kPa | 215 | 159 | 157 |
| | 1.500 kPa | 79 | 72 | 98 |
| | Agua útil | 135 | 87 | 59 |

III.4. PARCELA LOS ACEVIÑOS

Características generales

Situación: Pista de Los Aceviños al Cedro (Hermigua, La Gomera)

Coordenadas UTM: 280993 / 3114744

Altitud: 930 m.s.m.

Posición topográfica: Parte baja de ladera

Pendiente: Abrupto (30-50%)

Orientación: Noroeste

Clima

- **Régimen hídrico:** Údico
- **Régimen térmico:** Térmico

Material geológico: Basaltos antiguos del 1^{er} Ciclo volcánico (Mioceno)

Pedregosidad superficial: Muchas gravas y piedras (3-15%) basálticas

Afloramientos rocosos: No se observa

Profundidad útil del suelo: Profundo (100-150 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar moderada (10-25% de superficie afectada). Descalce de troncos
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Rápido
- **Externo:** Muy rápido

Influencia antrópica. Usos: Baja. Espacio Natural Protegido (Parque Nacional de Garajonay)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatofila termomesomediterránea mesofítica canaria occidental subhúmedo-húmeda del viñatigo (*Persea indica*): *Lauro novocanariensis* -*Perseeto indicae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Laurisilva de valle (*Lauro novocanariensis* - *Perseetum indicae*, facie de *Persea indica*)
- **% de recubrimiento:** Suelo totalmente cubierto (>80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Andosol aluándico eutrosfílico fúlvico (éutrico, limoso)
- **Soil Taxonomy:** Fulvudand éutrico páchico

| Horizonte | Prof. (cm) | Descripción |
|----------------|------------|---|
| A ₁ | 5-25 | Negro 7.5 YR 2/1; franco-arcilloso; estructura grumosa media, friable; porosidad abundante, poros interagregados irregulares de tamaño mediano y fino; algunas gravas basálticas irregulares; raíces muy frecuentes, finas, vivas y funcionales; límite gradual y plano. |
| A ₂ | 25-70 | Negro parduzco 7.5YR 2/2; limo arcilloso; estructura grumosa gruesa, friable; porosidad abundante, poros interagregados irregulares de tamaño fino; frecuentes gravas y algunas piedras basálticas e irregulares; frecuentes raíces gruesas y muy gruesas, vivas y funcionales; límite gradual y plano. |
| B _w | 70->120 | Pardo oscuro 7.5YR 3/3; estructura grumosa gruesa, friable; frecuentes microporos; frecuentes gravas basálticas redondeadas y algunas piedras basálticas irregulares; frecuentes raíces gruesas y muy gruesas vivas y funcionales. |

| Tabla III.10. Parcela <i>Los Aceviños</i> . Inventario de la vegetación | | | |
|---|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Laurus novocanariensis</i> Rivas-Mart., Lousa, Fern. Prieto, E. Días, J.C. Costa & C. Aguiar | 5 | 86 | 19,1 |
| <i>Persea indica</i> (L.) C.K. Spreng | 95 | 118 | 306,9 |
| Microfanerófitos | | | |
| <i>Viburnum rigidum</i> Vent | 73 | - | - |
| Fanerófitos trepadores | | | |
| <i>Rubia peregrina</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Rubus bollei</i> Focke | <1 | - | - |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Hypericum grandifolium</i> Choisy | 1,8 | - | - |
| Caméfitos | | | |
| <i>Cedronella canariensis</i> (L.) Webb & Berthel. | 1,3 | - | - |
| <i>Diplazium caudatum</i> (Cav.) Jermy | <1 | - | - |
| <i>Polystichum setiferum</i> (Forssk.) Moore <i>ex</i> Wyon. | 2,2 | - | - |
| <i>Pteris incompleta</i> Cav | 3,5 | - | - |
| <i>Urtica morifolia</i> Poir. | <1 | - | - |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Ageratina adenophora</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob. | <1 | - | - |
| <i>Asplenium onopteris</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Luzula canariensis</i> Poir. | <1 | - | - |
| <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn | 9,6 | - | - |
| <i>Viola riviniana</i> Rchb. | <1 | - | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Galium scabrum</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Myosotis latifolia</i> Poir. | <1 | - | - |

| Tabla III.11. Parcela <i>Los Aceviños</i> . Fitomasa y necromasa total (t ha ⁻¹) | |
|--|-------|
| Fitomasa aérea | 326,0 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 34,6 |
| Necromasa (mantillo) | 4,93 |

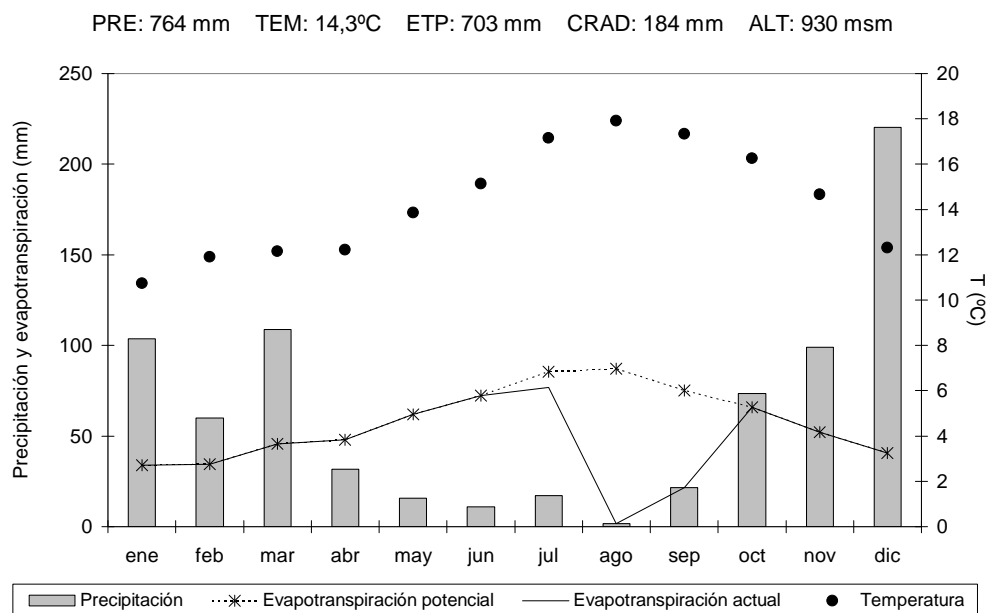


Figura III.3. Parcela *Los Aceviños*. Diagrama de Thornthwaite



Foto III.5. Panorámica de la parcela *Los Aceviños*: laurisilva de valle



Foto III.6. Perfil *Los Aceviños*: Andosol aluándico eutrofélico fúlvico (éutrico, limoso) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Fulvudand éutrico páchico (Soil Survey Staff, 2006)

| | | Horizonte | | |
|--|-------------------------------------|----------------|------------------|----------------|
| | | A ₁ | A ₂ | B _w |
| Profundidad (cm) | | 5-25 | 25-70 | 70->100 |
| pH | H ₂ O | 5,7 | 6,3 | 6,1 |
| | KCl | 4,8 | 4,6 | 4,5 |
| Cationes cambiables (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 28,6 | 16,9 | 14,8 |
| | Mg ²⁺ | 14,9 | 10,5 | 9,6 |
| | K ⁺ | 2,2 | 0,8 | 0,9 |
| | Na ⁺ | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| | CCC | 76,7 | 52,4 | 52,9 |
| | Al ³⁺ | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Saturación de bases (%) | | 60,6 | 55,6 | 50,0 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 139,0 | 43,5 | 19,0 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 10,1 | 4,6 | 4,1 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 1,6 | 2,8 | - |
| | Al _o | 1,2 | 1,3 | - |
| | Si _o | 0,2 | 0,4 | - |
| | Al _o + ½ Fe _o | 2,0 | 2,7 | - |
| | Fe _p | 0,5 | 0,6 | 0,5 |
| | Al _p | 0,6 | 0,5 | 0,2 |
| Retención de fosfato (%) | | 88,6 | 90,1 | - |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,37 | 0,7 | - |
| Índice melánico | | 1,99 | - | - |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elem. gruesos | 106 | 231 | 114 |
| | Arcillas | 176 | 277 | 248 |
| | Limos | 522 | 492 | 507 |
| | Arenas | 303 | 231 | 245 |
| | Textura | Franco-limosa | Franco-arcillosa | Franco-limosa |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 880 | 560 | 572 |
| | 1500 kPa | 417 | 315 | 295 |
| | Agua útil | 463 | 245 | 277 |

III.5. PARCELA LOS NORUEGOS

Características generales

Situación: Cumbres de Tajaqué (Hermigua, La Gomera)

Coordenadas UTM: 280590 / 3111311

Altitud: 1.300 m.s.m.

Posición topográfica: Parte media de ladera

Pendiente: Muy abrupto (>50 %)

Orientación: Noreste

Clima

- **Régimen hídrico:** Údico
- **Régimen térmico:** Mésico

Material geológico: Basaltos de 2º Ciclo volcánico (Mioceno superior–Plioceno)

Pedregosidad superficial: Gravas muy abundantes (15-90%) y muchas piedras (3-15%) basálticas

Afloramientos rocosos: Muy pocos (<2%) basálticos

Profundidad útil del suelo: Profundo (100-150 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar severa (50-75 % de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Moderado
- **Externo:** Rápido

Influencia antrópica. Usos: Baja. Espacio Natural Protegido (Parque Nacional de Garajonay)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatofila termomesomediterránea mesofítica canaria occidental subhúmedo-húmeda del viñatigo (*Persea indica*): *Lauro novocanariensis* - *Perseeto indicae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Laurisilva de ladera (*Lauro novocanariensis* - *Perseetum indicae*, facie de *Laurus novocanariensis*)
- **% de recubrimiento:** Suelo totalmente cubierto (>80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Andosol silándico eutrofílico fúlvico (dístrico, limoso)
- **Soil Taxonomy:** Fulvudand páchico

| Horizonte | Prof. (cm) | Descripción |
|----------------|------------|---|
| A | 0-50 | Negro 10 YR 2/1; arcillo-limoso; estructura grumosa media, friable; muchos microporos y poros finos interagregados irregulares; abundantes gravas y algunas piedras basálticas irregulares; abundantes raíces finas y pocas gruesas vivas y funcionales; límite gradual y ondulado. |
| B _w | 50-120 | Pardo (7,5 YR 4/4), seco; naranja amarillo claro (10 YR 8/3), húmedo; limo-arcilloso; estructura masiva que se resuelve a poliédrica subangular gruesa, friable; pocas grietas muy finas; no se observan elementos gruesos; abundantes raíces muy finas vivas y funcionales; acúmulos de color amarillo en borde de raíces; manchas de color pardo amarillenta brillante (10 YR 6/8, húmedo). |

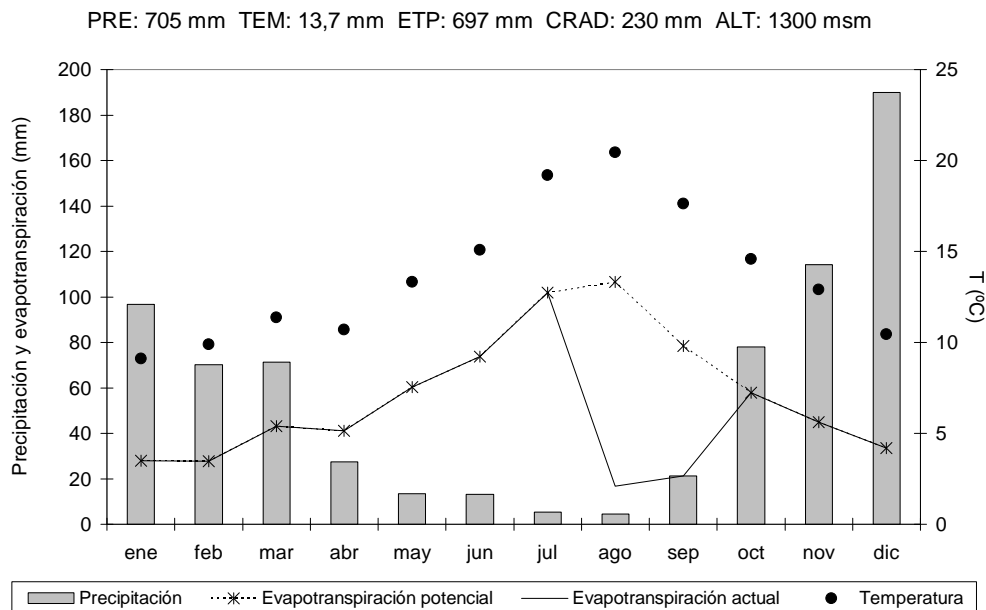


Figura III.4. Parcela *Los Noruegos*. Diagrama de Thornthwaite

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
|---|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 9 | 160 | 34,5 |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir | 10 | 53 | 44,2 |
| <i>Laurus novocanariensis</i> Rivas-Mart., Lousa, Fern. Prieto, E. Días, J.C. Costa & C. Aguiar | 20 | 592 | 73,0 |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 60 | 99 | 241,9 |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Hypericum grandifolium</i> Choisy | <1 | - | - |
| Caméfitos | | | |
| <i>Cedronella canariensis</i> (L.) Webb & Berthel. | <1 | - | - |
| <i>Polystichum setiferum</i> (Forssk.) Moore <i>ex</i> Wyon. | 38,5 | - | - |
| <i>Urtica morifolia</i> Poir. | <1 | - | - |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Asplenium onopteris</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Polypodium macaronesticum</i> A.E. Bobrov | <1 | - | - |
| <i>Viola riviniana</i> Rchb. | <1 | - | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Galium scabrum</i> L. | <1 | - | - |

| | |
|-------------------------------|-------|
| Fitomasa aérea | 393,5 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 27,5 |
| Necromasa (mantillo) | 4,40 |

| | | Horizontes | |
|--|---------------------------------------|---------------|----------------|
| | | A | B _w |
| Profundidad (cm) | | 0-50 | 50-120 |
| pH | H ₂ O | 5,9 | 5,1 |
| | KCl | 4,8 | 3,8 |
| Cationes cambiabiles (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 20,6 | 1,5 |
| | Mg ²⁺ | 5,1 | 3,7 |
| | K ⁺ | 1,2 | 0,1 |
| | Na ⁺ | 0,7 | 2,0 |
| | CCC | 58,4 | 34,2 |
| | Al ³⁺ | 2,7 | 14,1 |
| | Saturación de bases (%) | 47,3 | 21,0 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 90,5 | 15,7 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 8,1 | 1,0 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 1,0 | 1,9 |
| | Al _o | 1,8 | 0,9 |
| | Si _o | 0,3 | 0,1 |
| | Al _o + 1/2 Fe _o | 2,3 | 1,9 |
| | Fe _p | 0,6 | 0,8 |
| | Al _p | 0,7 | 0,5 |
| Retención de fosfato (%) | | 90,5 | 5,6 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,51 | 0,86 |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elementos gruesos | 146 | 46,8 |
| | Arcillas | 74 | 214 |
| | Limos | 652 | 597 |
| | Arenas | 274 | 189 |
| | Textura | Franco-limosa | Franco-limosa |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 837 | 671 |
| | 1.500 kPa | 340 | 273 |
| | Agua útil | 498 | 397 |



Foto III.7. Panorámica de la parcela *Los Noruegos*: laurisilva de ladera

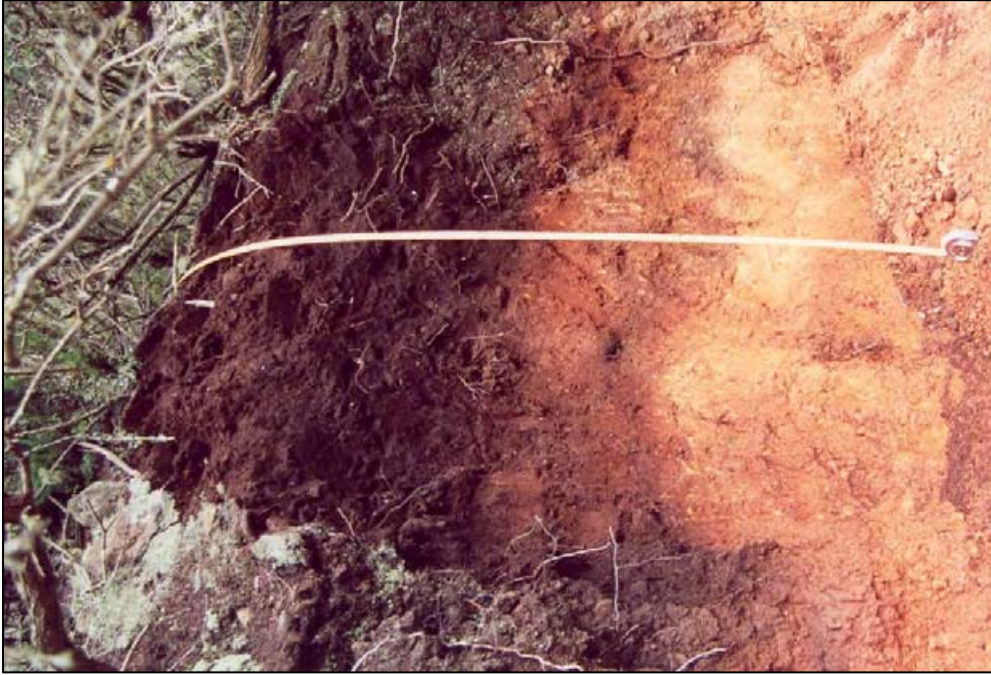


Foto III.8. Perfil *Los Noruegos*: Andosol silándico eutrofélico fúlvico (dústrico, limoso) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Fulvudand páchico (Soil Survey Staff, 2006)

III.6. PARCELA PALOS PELADOS

Características generales

Situación: Raso de la Bruma (Valle Gran Rey, La Gomera)

Coordenadas UTM: 274836 / 3115095

Altitud: 1.020 m.s.m.

Posición topográfica: Parte media de ladera

Pendiente: Inclinado (10-20%)

Orientación: Sudeste

Clima

- **Régimen hídrico:** Údico
- **Régimen térmico:** México

Material geológico: Basaltos de 2º Ciclo volcánico (Mioceno superior–Plioceno)

Pedregosidad superficial: Gravas muy abundantes (15-90%) y pocas piedras (3-15%) basálticas

Afloramientos rocosos: No se observa

Profundidad útil del suelo: Profundo (100-150 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar fuerte (25-50% de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Moderado
- **Externo:** Rápido

Influencia antrópica. Usos: Baja. Espacio Natural Protegido (Parque Nacional de Garajonay)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila termomesomediterránea mesofítica canaria occidental subhúmedo-húmeda del viñatigo (*Persea indica*): *Lauro novocanariensis* - *Perseeto indicae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Fayal-brezal arbóreo (*Myrica fayae* - *Ericetosum arboreae*)
- **% de recubrimiento:** Suelo totalmente cubierto (>80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Andosol aluándico eutrosílico fúlvico (dístico, endoarcilloso)
- **Soil Taxonomy:** Fulvudand últico

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|-----------------|------------|--|
| AB _w | 2-50 | Negro parduzco 5YR 2.5/1; limoso; estructura grumosa media, friable; abundantes microporos y canales; algunas gravas y piedras basálticas irregulares; raíces finas muy frecuentes y medianas frecuentes vivas y funcionales; límite gradual y ondulado. |
| B _t | 50-100 | Pardo oscuro 7.5YR 3/3; arcilloso; estructura migajosa gruesa, friable; abundantes microporos y pocos canales; algunas gravas y frecuentes piedras basálticas irregulares; pocas raíces medianas vivas y funcionales y pocas gruesas muertas; fragmentos de carbón, límite neto. |

| Tabla III.18. Parcela <i>Palos Pelados</i> . Inventario de la vegetación | | | |
|--|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 55 | 2.129 | 68,2 |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir | 4 | 131 | 4,53 |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 40 | 184 | 44,9 |
| Microfanerófitos | | | |
| <i>Viburnum rigidum</i> Vent | <1 | - | - |
| Fanerófitos trepadores | | | |
| <i>Rubia peregrina</i> L. | <1 | - | - |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Cistus monspeliensis</i> L. | 4,7 | - | - |
| <i>Hypericum canariense</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Hypericum grandifolium</i> Choisy | <1 | - | - |
| <i>Sonchus ortunoii</i> Svent | <1 | - | - |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Ageratina adenophora</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob. | <1 | - | - |
| <i>Luzula canariensis</i> Poir. | <1 | - | - |
| <i>Viola riviniana</i> Rchb. | <1 | - | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Galium scabrum</i> L. | <1 | - | - |

| Tabla III.19. Parcela <i>Palos Pelados</i> . Fitomasa y necromasa total (t ha ⁻¹) | |
|---|-------|
| Fitomasa aérea | 117,6 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 42,5 |
| Necromasa (mantillo) | 3,57 |

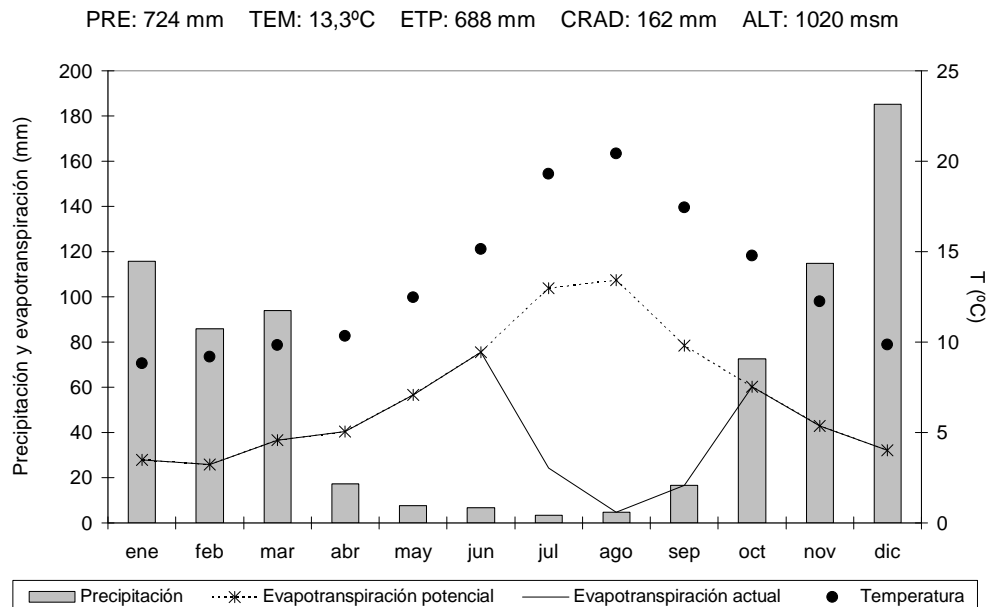


Figura III.5. Parcela *Palos Pelados*. Diagrama de Thornthwaite



Foto III.9. Panorámica de la parcela *Palos Pelados*: Fayal-brezal arbóreo



Foto III.10. Perfil *Palos Pelados*: Andosol aluándico eutroflíco fúlvico (dístrico, endoarcilloso) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Fulvudand últico (Soil Survey Staff, 2006)

| Tabla III.20. Perfil <i>Palos Pelados</i> . Resultados analíticos generales | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------|----------------|
| | | Horizonte | |
| | | AB _w | B _t |
| Profundidad (cm) | | 2-50 | 50-100 |
| pH | H ₂ O | 5,9 | 5,7 |
| | KCl | 4,7 | 4,2 |
| Cationes cambiabiles (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 18,9 | 3,5 |
| | Mg ²⁺ | 8,6 | 3,9 |
| | K ⁺ | 1,5 | 0,2 |
| | Na ⁺ | 2,0 | 2,2 |
| | CCC | 67,4 | 41,9 |
| | Al ^{3*} | 2,1 | 2,8 |
| Saturación de bases (%) | | 46,0 | 23,4 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 128,0 | 52,0 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 8,9 | 2,8 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 1,5 | 2,6 |
| | Al _o | 1,2 | 1,0 |
| | Si _o | 0,2 | 0,0 |
| | Al _o + ½ Fe _o | 2,0 | 2,3 |
| | Fe _p | 1,2 | 4,5 |
| | Al _p | 1,7 | 2,6 |
| | Si _p | 0,6 | 3,1 |
| Retención de fosfato (%) | | 86,3 | 89,3 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,65 | 0,8 |
| Índice melánico | | 1,76 | - |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elementos gruesos | 292 | 126 |
| | Arcillas | 97 | 647 |
| | Limos | 448 | 226 |
| | Arenas | 454 | 127 |
| | Textura | Franca | Arcillosa |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 632 | 629 |
| | 1.500 kPa | 353 | 430 |
| | Agua útil | 280 | 199 |

III.7. PARCELA PAJARITOS

Características generales

Situación: Cumbres de Tajaqué. Camino de Pajaritos al Alto de Garajonay (Alajeró, La Gomera)

Coordenadas UTM: 279686 / 3111241

Altitud: 1.360 m.s.m.

Posición topográfica: Parte alta de ladera

Pendiente: Muy pendiente (20-30 %)

Orientación: Sudoeste

Clima

- **Régimen hídrico:** Xérico
- **Régimen térmico:** Térmico

Material de origen: Basaltos de 2º ciclo volcánico (Mioceno superior-Plioceno)

Pedregosidad superficial: Gravas y piedras muy abundantes (15-90%)

Afloramientos rocosos: Muy pocos (<2%)

Profundidad útil del suelo: Poco profundo (25-50 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar fuerte (25-50% de superficie afectada) y en regueros ligera (<10% de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Moderado
- **Externo:** Rápido

Influencia antrópica. Usos: Media. Antigua plantación de pinos, de la que aún se observan los tocones cortados. Abundantes restos de corta sobre la superficie del suelo. Vereda cercana. Espacio Natural Protegido (Parque Nacional de Garajonay)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatofila termomesomediterránea mesofítica canaria occidental subhúmedo-húmeda del viñatigo (*Persea indica*): *Lauro novocanariensis* - *Perseeto indicae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Brezal arbustivo (*Myrico fayae* - *Ericetosum arboreae*, *Telino canariensis* - *Adenocarpion foliolosi*)
- **% de recubrimiento:** Suelo casi cubierto (40-80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Luvisol léptico (húmico, esquelético)
- **Soil Taxonomy:** Haploxeralf lítico ándico

| Horizonte | Prof. (cm) | Descripción |
|-----------------|------------|---|
| AB _w | 2-22 | Pardo grisáceo 7.5 YR 4/2; franco-limoso; estructura grumosa muy gruesa que se resuelve a poliédrica subangular media, blando; abundantes canales y cavidades de tamaño medio y fino, frecuentes microporos; frecuentes gravas y piedras basálticas irregulares con tendencia angulosa; abundantes raíces muy finas y frecuentes medianas, vivas y funcionales; límite neto y ondulado. |
| B _t | 22-35 | Pardo 7.5YR 4/3.5; arcillo limoso; estructura grumosa muy gruesa que se resuelve a grumosa media, blando; frecuentes canales finos y abundantes microporos; frecuentes gravas y muchas piedras basálticas e irregulares; frecuentes raíces muy finas y muy pocas muy gruesas, vivas y funcionales; límite muy abrupto. Contacto lítico. |



Foto III.11. Panorámica de la parcela *Pajaritos*: brezal arbustivo

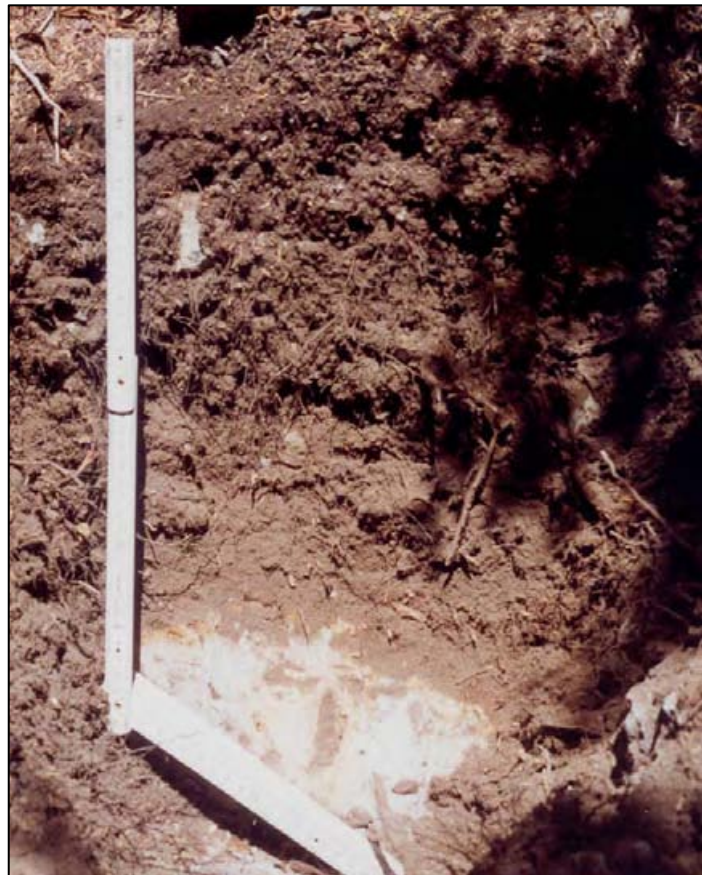


Foto III.12. Perfil *Pajaritos*: Luvisol léptico (húmico, esquelético) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Haploxeralf lítico ándico (Soil Survey Staff, 2006)

| Tabla III.22. Parcela <i>Pajaritos</i> . Inventario de la vegetación | | | |
|---|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 70,6 | 1.200 | 56,4 |
| <i>Laurus novocanariensis</i> Rivas-Mart., Lousa, Fern. Prieto, E. Días, J.C. Costa & C. Aguiar | <1 | - | - |
| Fanerófitos trepadores | | | |
| <i>Rubia peregrina</i> L. | 2,8 | 3.200 | 0,02 |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Adenocarpus foliolosus</i> (Aiton) DC. | 37,5 | 4.800 | 1,59 |
| <i>Cistus monspeliensis</i> L. | 10,3 | 1.100 | 1,10 |
| <i>Sideritis lhotskyi</i> (Pit.) Boulos | <1 | - | - |
| <i>Sonchus hierrensis</i> (Pit.) Boulos | 4,7 | 100 | 0,18 |
| <i>Sonchus ortunoi</i> Svent | <1 | - | - |
| Caméfitos | | | |
| <i>Andryala pinnatifida</i> Aiton | 2,8 | 18.000 | 4,98 |
| <i>Galium scabrum</i> L. | 3,1 | - | - |
| <i>Micromeria lepida</i> Webb & Berthel. | <1 | 14.800 | 0,03 |
| <i>Micromeria varia</i> Benth. | 12,2 | - | - |
| <i>Polycarpha divaricata</i> (Aiton) Poir. | <1 | 1.600 | 0,00 |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Asplenium onopteris</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv. | 1,2 | - | - |
| <i>Pericallis steetzii</i> (Bolle) B. Nord. | 1,8 | - | - |
| <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn | 1,9 | 1.100 | 0,01 |
| Terófitos | | | |
| <i>Avena barbata</i> Pott. ex Link | <1 | - | - |
| <i>Briza máxima</i> L. | 3,3 | - | - |
| <i>Bromus rigidus</i> Roth | 1,5 | - | - |
| <i>Carduus baeocephalus</i> Webb | <1 | - | - |
| <i>Crepis foetida</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Erodium cicutarium</i> (L.) L'Hér. | <1 | - | - |
| <i>Fumaria muralis</i> Sond ex Koch | <1 | - | - |
| <i>Galactites tomentosa</i> Moench | <1 | - | - |
| <i>Galium aparine</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Geranium molle</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Geranium robertianum</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Leontodon taraxacoides</i> (Vill.) Mérat | <1 | - | - |
| <i>Ornithopus compressus</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Parietaria debilis</i> G. Forst. | <1 | - | - |
| <i>Rumex bucephalophorus</i> L. | 20,6 | - | - |
| <i>Senecio vulgaris</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Silene gallica</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke | 2,2 | - | - |
| <i>Stachys arvensis</i> (L.) L. | <1 | - | - |
| <i>Vulpia myurus</i> (L.) C.C. Gmel. | 1,3 | - | - |

| Tabla III.23. Parcela <i>Pajaritos</i> . Fitomasa y necromasa total (t ha ⁻¹) | |
|---|------|
| Fitomasa aérea | 64,4 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 16,6 |
| Necromasa (mantillo) | 1,17 |

| Tabla III.24. Perfil <i>Pajaritos</i> . Resultados analíticos generales | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------|----------------|
| | | Horizonte | |
| | | AB _w | B _t |
| Profundidad (cm) | | 2-22 | 22-35 |
| pH | H ₂ O | 4,8 | 4,8 |
| | KCl | 4,3 | 4,8 |
| Cationes cambiables (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ⁺² | 13,1 | 7,9 |
| | Mg ⁺² | 4,0 | 3,6 |
| | K ⁺ | 1,0 | 1,0 |
| | Na ⁺ | 0,4 | 0,8 |
| | CCC | 31,6 | 33,6 |
| | Al ³⁺ | 0,4 | 0,5 |
| | Saturación de bases (%) | | 58,6 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 144,1 | 76,3 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 6,4 | 4,8 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 1,2 | 1,0 |
| | Al _o | 0,9 | 1,3 |
| | Si _o | 0,2 | 0,2 |
| | Al _o + ½ Fe _o | 1,5 | 1,8 |
| | Fe _p | 0,6 | 0,6 |
| | Al _p | 0,8 | 1,0 |
| | Si _p | 0,2 | 0,1 |
| Retención de fosfato (%) | | 78,0 | 90,0 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,55 | 0,67 |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elementos gruesos | 599 | 547 |
| | Arcillas | 134 | 219 |
| | Limos | 528 | 509 |
| | Arenas | 339 | 272 |
| | Textura | Franco-limosa | Franco-limosa |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 263 | 271 |
| | 1.500 kPa | 184 | 179 |
| | Agua útil | 79 | 92 |

PRE: 705 mm TEM: 13,7 mm ETP: 697 mm CRAD: 20 mm ALT: 1360 msm

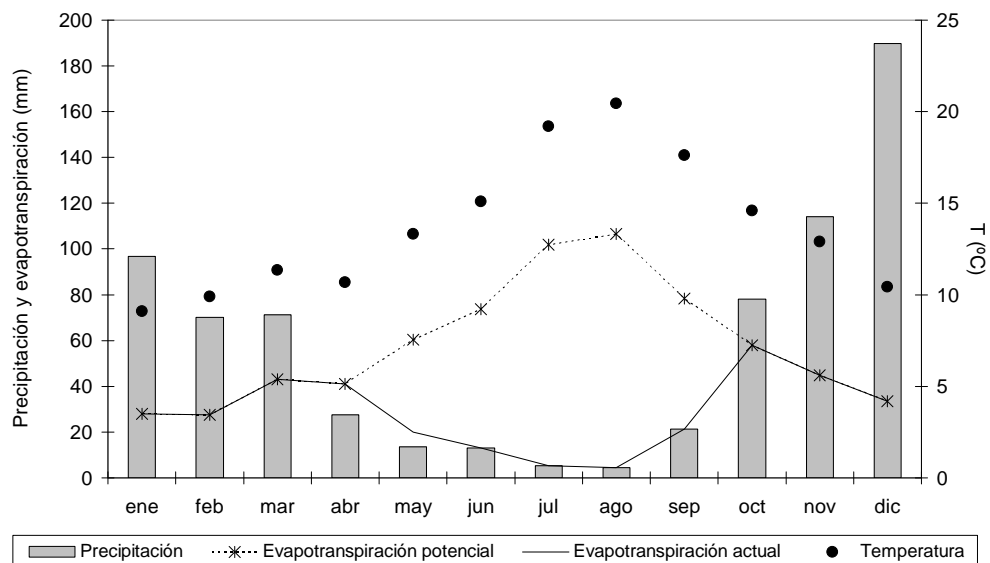


Figura III.6. Parcela *Pajaritos*. Diagrama de Thornthwaite

III.8. PARCELA *RAVELO*

Características generales

Situación: Las Crucitas. A 150 m del área recreativa de Las Calderetas (El Sauzal, Tenerife)

Coordenadas UTM: 362102 / 3147422

Altitud: 980 m.s.m.

Posición topográfica: Parte media de ladera

Pendiente: Inclinado (10-20 %)

Orientación: Norte-Noreste

Clima:

- **Régimen hídrico:** Údico
- **Régimen térmico:** Mésico

Material geológico: Coladas basálticas de la Serie III (Pleistoceno Superior)

Pedregosidad superficial: Pocas piedras (1-3%) basálticas

Afloramientos rocosos: No se observa

Profundidad útil del suelo: Profundo (100-150 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar moderada (10-25% de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Lento
- **Externo:** Rápido

Influencia antrópica. Usos: Alta. Área reforestada sujeta a extracción periódica de leña y con presencia cercana de una pista forestal

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila termomesomediterránea mesofítica canaria occidental subhúmedo-húmeda del viñátigo (*Persea indica*): *Lauro novocanariensis* - *Perseeto indicae sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal (*Myrica fayae* - *Ericetosum arboreae*)
- **% de recubrimiento:** Suelo totalmente cubierto (>80%)

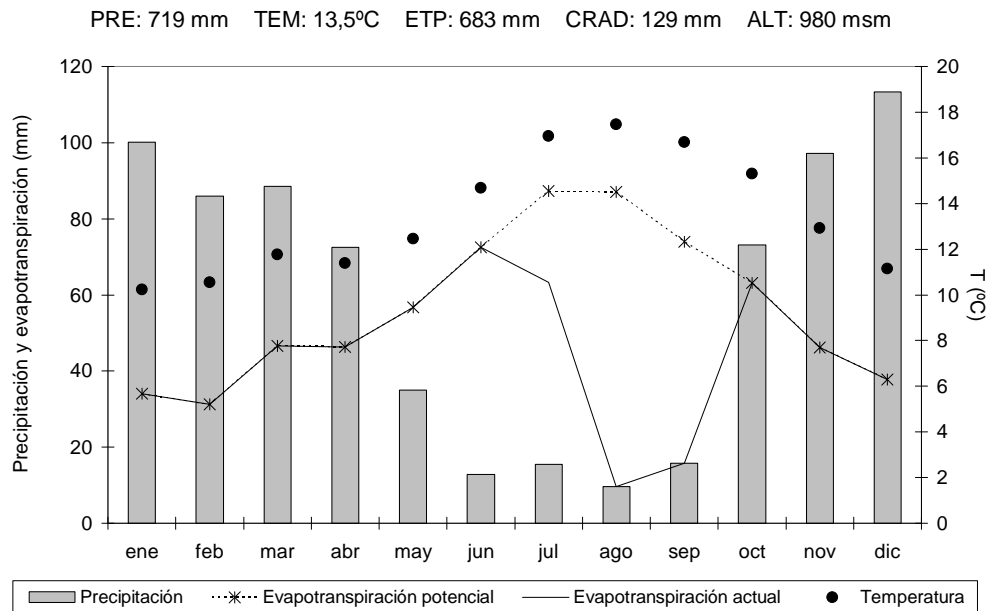
Clasificación del suelo

- **WRB:** Andosol silándico fúlvico (hiperdístrico, limoso)
- **Soil Taxonomy:** Fulvudand éutrico páchico

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|----------------|-------------|---|
| O | 0/5-10 | Pardo muy oscuro a pardo oscuro (7.5YR entre 2.5/2.4) en húmedo; ligeramente húmedo; textura limosa; estructura grumosa muy fina y esponjosa, con restos vegetales poco descompuestos, muy orgánica; friable; elevada porosidad (macro y microporos); algunos fragmentos de gravas basálticas (inferior al 10%), no se observan raíces pero sí una abundante microfauna y restos de excrementos, reacción con NaF negativa. |
| A ₁ | 5/10-23/28 | Pardo oscuro (10YR 2.5/3.5), húmedo, textura limo arcillosa; estructura grumosa fina a media y esponjosa; muy friable; porosidad elevada; algunos fragmentos de gravas (5%); muy abundante en raíces muy finas, finas, medias y gruesas que alcanzan todo el horizonte; reacción con NaF rápida y débil. |
| A ₂ | 23/28-69/74 | Negro parduzco (7.5YR 2.5/2.5), húmedo, textura limosa; estructura masiva que se resuelve en grumosa gruesa y media; de muy friable a firme; abundante microporosidad; gravas y pequeñas piedras basálticas (inferior al 5%); raíces medianamente abundantes, de muy finas a gruesas (presencia de carbón); reacción NaF rápida y débil. |
| B _w | 69/74->129 | Pardo amarillento (10YR 4.5/7), húmedo; textura limo arcillosa; estructura masiva que se resuelve en grumosa gruesa y poliédrica media y fina; firme a muy firme; elevada microporosidad; raíces finas a medias en todo el horizonte; fragmentos de carbón; presencia de revestimientos en los canales de las raíces, reacción NaF rápida y débil. |

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
|---|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir | 8,7 | 350 | 0,62 |
| <i>Laurus novocanariensis</i> Rivas-Mart., Lousa, Fern. Prieto, E. Días, J.C. Costa & C. Aguiar | 1,1 | - | - |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 2,1 | 50 | 0,57 |
| <i>Pinus radiata</i> D. Don | 85,5 | 650 | 345,6 |
| Fanerófitos trepadores | | | |
| <i>Rubus ulmifolius</i> Schott | 7,3 | - | - |
| <i>Smilax aspera</i> L. | <1 | - | - |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Adenocarpus foliolosus</i> (Aiton) DC. | <1 | - | - |
| <i>Daphne gnidium</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Hypericum grandifolium</i> Choisy | <1 | - | - |
| <i>Isoplexis canariensis</i> (L.) J.W. Loudon | 8,4 | - | - |
| Caméfitos | | | |
| <i>Galium scabrum</i> L. | 1,2 | - | - |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Ageratina adenophora</i> (Spreng.) R.M. King & H. Rob. | <1 | - | - |
| <i>Brachypodium sylvaticum</i> (Huds.) P. Beauv. | 1,3 | - | - |
| <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn | 39,0 | - | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Lathyrus annuus</i> L. | <1 | - | - |

| | |
|-------------------------------|-------|
| Fitomasa aérea | 346,7 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 4,18 |
| Necromasa (mantillo) | 5,80 |


 Figura III.7. Parcela *Ravelo*. Diagrama de Thornthwaite

| | | Horizonte | | |
|--|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | A ₁ | A ₂ | B _w |
| Profundidad (cm) | | 5/10 - 23/28 | 23/28 - 69/74 | 69/74 - >130 |
| pH | H ₂ O | 6,0 | 5,8 | 5,8 |
| | KCl | 4,9 | 4,9 | 5,5 |
| Cationes cambiables (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 12,6 | 4,8 | 2,3 |
| | Mg ²⁺ | 8,3 | 3,0 | 3,9 |
| | K ⁺ | 2,0 | 0,4 | 0,7 |
| | Na ⁺ | 1,3 | 1,2 | 1,0 |
| | CCC | 57,2 | 53,9 | 42,3 |
| | Al ³⁺ | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Saturación de bases (%) | | 42,3 | 17,4 | 18,7 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 113,5 | 64,1 | 19,2 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 7,0 | 5,0 | 2,0 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 1,6 | 1,8 | 2,7 |
| | Al _o | 3,8 | 4,9 | 6,2 |
| | Si _o | 3,1 | 4,1 | 5,3 |
| | Al _o + 1/2 Fe _o | 4,5 | 5,8 | 7,6 |
| | Fe _p | 0,4 | 0,4 | 0,0 |
| | Al _p | 1,7 | 1,4 | 0,3 |
| | Si _p | 0,1 | 0,1 | 0,0 |
| Retención de fosfato (%) | | 95 | 96 | 94 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elem. gruesos | 61 | 58 | 55 |
| | Arcillas | 97 | 84 | 110 |
| | Limos | 561 | 668 | 487 |
| | Arenas | 342 | 246 | 403 |
| | Textura | Franco-limosa | Franco-limosa | Franca |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 691 | 626 | 563 |
| | 1.500 kPa | 403 | 420 | 404 |
| | Agua útil | 288 | 206 | 159 |



Foto III.13. Panorámica de la parcela *Ravelo*: plantación de *Pinus radiata*



Foto III.14. Perfil *Ravelo*: Andosol silándico fúlvico (hiperdístrico, limoso) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Fulvudand éútrico páchico (Soil Survey Staff, 2006)

III.9. PARCELA *LOS FRAILES*

Características generales

Situación: Monte de Los Frailes (Arafo, Tenerife)

Coordenadas UTM: 358937 / 3137258

Altitud: 955 m.s.m.

Posición topográfica: Base de ladera de cono volcánico

Pendiente: Muy pendiente (20-30 %)

Orientación: Noreste

Clima

- **Régimen hídrico:** Ústico
- **Régimen térmico:** Térmico

Material geológico: Coladas basálticas de la Serie II (Plioceno-Pleistoceno Inferior)

Pedregosidad superficial: Pocas gravas (1-3%) y muy pocas piedras (<1%) basálticas

Afloramientos rocosos: No se observa

Profundidad útil del suelo: Profundo (100-150 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar ligera (<10% de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Rápido
- **Externo:** Rápido

Influencia antrópica. Usos: Baja. Proximidad a un área recreativa. Espacio Natural Protegido (Parque Natural de Corona Forestal)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila mesomediterránea mesofítica tinerfeña subhúmeda inferior del pino canario (*Pinus canariensis*): *Sideritido solutae-Pineto canariensis sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Pinar húmedo (*Sideritido solutae-Pinetum canariensis*, subass. *ericetosum arboreae*)
- **% de recubrimiento:** Suelo casi cubierto (40-80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Phaeozem lúvico (arcilloso)
- **Soil Taxonomy:** Argiustoll ándico

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|----------------|------------|---|
| A | 0-35 | Pardo rojizo oscuro (5YR 3/3), húmedo; franco-arcilloso; estructura grumosa media-fina; muy friable; abundantes microporos y poros de tamaño fino-mediano; algunas gravas redondeadas; abundantes raíces finas, frecuentes medias y gruesas, vivas y funcionales, pocas muy gruesas, muertas; algunos fragmentos de carbón; presencia de micelios de hongos en las raíces muertas; reacción NaF negativa. |
| B _t | 35-100 | Naranja opaco (5YR 6/4), húmedo; arcilloso; estructura masiva que se resuelve a poliédrica subangular de tamaño fino y medio; friable; muchos microporos, frecuentes grietas y cavidades; algunas gravas irregulares; pocas raíces finas y medias, vivas y funcionales; evidencias de iluviación de arcillas en elementos gruesos y en la superficie de agregados; reacción NaF negativa. |

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
|--|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Megafanerófitos | | | |
| <i>Pinus canariensis</i> Chr. Sm. ex DC. in Buch | 74,2 | 272 | 188,0 |
| Mesofanerófitos | | | |
| <i>Erica arborea</i> L. | 33,0 | 500 | 4,26 |
| <i>Ilex canariensis</i> Poir. | 6,0 | 80 | 4,96 |
| <i>Myrica faya</i> Aiton | 3,8 | 64 | 0,60 |
| Microfanerófitos | | | |
| <i>Arbutus canariensis</i> Veill | <1 | - | - |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Argyranthemum adauctum</i> (Link) Humphries | <1 | - | - |
| <i>Cistus monspeliensis</i> L. | 11,9 | - | - |
| <i>Cistus symphytifolius</i> Lam. | <1 | - | - |
| <i>Daphne gnidium</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Hypericum reflexum</i> L.f. | 2,8 | - | - |
| <i>Jasminum odoratissimum</i> L. | 1,1 | - | - |
| Geófitos | | | |
| <i>Drimia maritima</i> (L.) Stearn | 3,9 | - | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Tuberaria guttata</i> (L.) Fourr. | <1 | - | - |

| | |
|-------------------------------|-------|
| Fitomasa aérea | 197,9 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 15,9 |
| Necromasa (mantillo) | 3,69 |

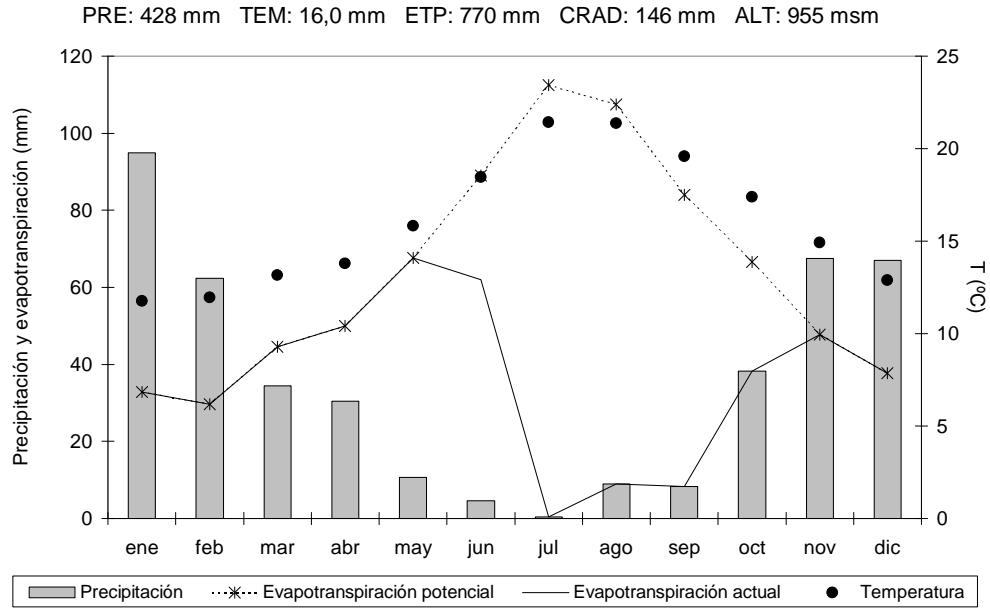


Figura III.8. Parcela *Los Frailes*. Diagrama de Thornthwaite

| Tabla III.32. Perfil <i>Los Frailes</i> . Resultados analíticos generales | | Horizonte | |
|---|---------------------------------------|------------------|----------------|
| | | A | B _t |
| Profundidad (cm) | | 0-35 | 35-100 |
| pH | H ₂ O | 7,1 | 7,1 |
| | KCl | 5,8 | 5,4 |
| Cationes cambiables (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 9,3 | 6,2 |
| | Mg ²⁺ | 5,5 | 5,1 |
| | K ⁺ | 3,2 | 4,3 |
| | Na ⁺ | 0,7 | 1,1 |
| | CCC | 27,6 | 26,4 |
| | Saturación de bases (%) | | 68,0 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 40,5 | 5,6 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 1,1 | 0,4 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 0,8 | 1,0 |
| | Al _o | 0,4 | 0,4 |
| | Si _o | 0,2 | 0,2 |
| | Al _o + 1/2 Fe _o | 1,0 | 1,2 |
| | Fe _p | 0,1 | 0,1 |
| | Al _p | 0,1 | 0,3 |
| | Si _p | 0,1 | 0,2 |
| Retención de fosfato (%) | | 43,0 | 45,0 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,8 | 0,8 |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elementos gruesos | 65 | 36 |
| | Arcillas | 323 | 403 |
| | Limos | 329 | 382 |
| | Arenas | 282 | 180 |
| | Textura | Franco-arcillosa | Arcillosa |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 525 | 377 |
| | 1.500 kPa | 220 | 246 |
| | Agua útil | 305 | 131 |



Foto III.15. Panorámica de la parcela *Los Frailes*: pinar húmedo



Foto III.16. Perfil *Los Frailes*: Phaeozem lúvico (arcilloso) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Argiustoll ándico (Soil Survey Staff, 2006)

III.10. PARCELA *PINALITO*

Características generales

Situación: Carretera Vilaflor-Las Cañadas km. 65 (Vilaflor, Tenerife)

Coordenadas UTM: 339333 / 3117391

Altitud: 1.670 m.s.m.

Posición topográfica: Parte media de ladera

Pendiente: Muy pendiente (20-30 %)

Orientación: Sur

Clima

- **Régimen hídrico:** Xérico
- **Régimen térmico:** Térmico

Material geológico: Coladas traquibasálticas de la Serie II (Pleistoceno inferior)

Pedregosidad superficial: Pocas gravas (1-3%) y muchas piedras (3-15%) traquibasálticas

Afloramientos rocosos: Frecuentes coladas traquibasálticas (2-10%)

Profundidad útil del suelo: Poco profundo (25-50 cm)

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar severa (50-75% de superficie afectada) y ligera en regueros (<10% de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Rápido
- **Externo:** Muy rápido

Influencia antrópica. Usos: Media-alta. Incendio reciente. Espacio Natural Protegido (Parque Natural de Corona Forestal)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila mesomediterránea mesofítica tinerfeña seca del pino canario (*Pinus canariensis*): *Sideritido solutae-Pineto canariensis sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Pinar xérico (*Sideritido solutae-Pinetum canariensis*, subass. *ericetosum arboreae*)
- **% de recubrimiento:** Suelo casi cubierto (40-80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Cambisol léptico (húmico, dístrico)
- **Soil Taxonomy:** Distroxerept lítico

Tabla III.33. Perfil *Pinalito*. Descripción del suelo

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|------------------|------------|---|
| A ₁ | 0-5 | Pardo (7.5YR 4/3), seco; textura arenosa; estructura grumosa gruesa; suelto; abundantes canales, poros y cavidades gruesos y muy gruesos; frecuentes gravas irregulares y algunas piedras, con tendencia angulosa; abundantes restos de hojarasca semidescompuesta; presencia de microartrópodos y abundantes restos de carbón; reacción NaF negativa; horizonte muy afectado por incendios; límite con el horizonte inferior abrupto y plano. |
| A ₂ | 5-10 | Pardo amarillento opaco (10YR 4/3), seco; textura franco arenosa; estructura masiva que se resuelve a grumosa gruesa; blando; frecuentes canales muy finos y abundantes microporos; frecuentes gravas irregulares; algunas raíces muy finas, vivas y funcionales; presencia de abundantes restos vegetales semidescompuestos, algunos trozos de carbón; reacción NaF positiva muy débil y lenta; límite con el horizonte inferior gradual y ondulado. |
| B _w C | 10-45 | Pardo opaco (7.5YR 5/3), seco; textura franco-arcillosa; estructura poliédrica subangular gruesa; muy duro; muy pocas grietas muy finas y cavidades finas, frecuentes microporos; frecuentes gravas y abundantes piedras irregulares angulosas; raíces medianas, gruesas y muy gruesas muy frecuentes, vivas y funcionales; reacción NaF positiva muy débil y lenta; límite con el horizonte inferior gradual e irregular. |

Tabla III.34. Parcela *Pinalito*. Inventario de la vegetación

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
|---|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Megafanerófitos | | | |
| <i>Pinus canariensis</i> Chr. Sm. ex DC. <i>in</i> Buch | 71,7 | 240 | 214,9 |
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Argyranthemum adauctum</i> (Link) Humphries | <1 | - | - |
| Caméfitos | | | |
| <i>Lotus campylocladus</i> Webb & Berth. | 2,2 | - | - |

Tabla III.35. Parcela *Pinalito*. Fitomasa y necromasa total (t ha⁻¹)

| | |
|-------------------------------|-------|
| Fitomasa aérea | 214,9 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 17,2 |
| Necromasa (mantillo) | 5,94 |



Foto III.17. Panorámica de la parcela *Pinalito*: pinar xérico



Foto III.18. Perfil *Pinalito*: Cambisol léptico (húmico, dístrico) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Distroxerept lítico (Soil Survey Staff, 2006)

PRE: 511 mm TEM: 14,9 mm ETP: 747 mm CRAD: 54 mm ALT: 1670 msm

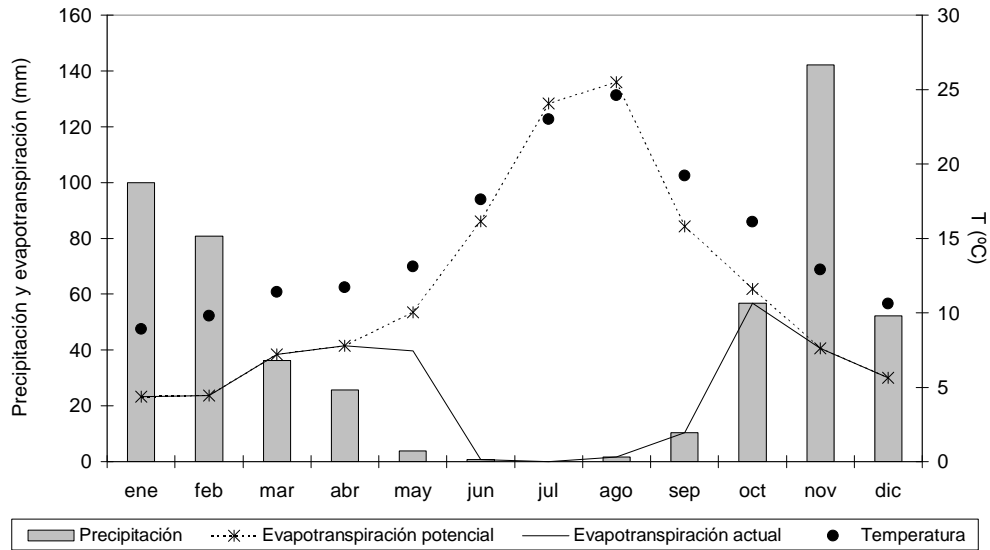


Figura III.9. Parcela *Pinalito*. Diagrama de Thornthwaite

| | | Horizonte | | |
|--|---------------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| | | A ₁ | A ₂ | B _w C |
| Profundidad (cm) | | 0-5 | 5-10 | 10-45 |
| pH | H ₂ O | 5,7 | 5,8 | 6,6 |
| | KCl | 5,0 | 5,3 | 5,0 |
| Cationes cambiabiles (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ²⁺ | 24,0 | 17,9 | 7,6 |
| | Mg ²⁺ | 7,0 | 7,1 | 2,5 |
| | K ⁺ | 2,0 | 1,8 | 2,0 |
| | Na ⁺ | 0,5 | 0,9 | 0,3 |
| | CCC | 44,8 | 36,6 | 31,7 |
| Saturación de bases (%) | | 75,0 | 76,0 | 39,0 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 59,4 | 41,7 | 9,4 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 7,2 | 4,0 | 0,8 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| | Al _o | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| | Si _o | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Al _o + 1/2 Fe _o | 0,5 | 0,5 | 0,3 |
| | Fe _p | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Al _p | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| | Si _p | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Retención de fosfato (%) | | 34,0 | 35,0 | 33,0 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elementos gruesos | 710 | 450 | 470 |
| | Arcillas | 127 | 175 | 266 |
| | Limos | 415 | 461 | 514 |
| | Arenas | 459 | 363 | 220 |
| | Textura | Franca | Franca | Franco-limosa |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 485 | 352 | 301 |
| | 1.500 kPa | 257 | 148 | 151 |
| | Agua útil | 228 | 203 | 151 |

III.11. PARCELA SIETE LOMAS

Características generales

Situación: Carretera Arafo-La Cumbre (Candelaria, Tenerife)

Coordenadas UTM: 359551 / 3140268

Altitud: 1.449 m.s.m.

Posición topográfica: Parte alta de ladera

Pendiente: Muy pendiente (20-30 %)

Orientación: Norte

Clima

- **Régimen hídrico:** Xérico
- **Régimen térmico:** Térmico

Material de origen: Coladas basálticas de la Serie III (Pleistoceno Superior)

Pedregosidad superficial: Gravas y piedras basálticas dominantes (>90%)

Afloramientos rocosos: Abundantes (25-30%)

Profundidad útil del suelo: Medianamente profundo (50-100 cm) en el perfil estudiado. Muy variable espacialmente

Evidencias de erosión

- **Hídrica:** Laminar extrema (>75% de superficie afectada)
- **Eólica:** No se observa

Drenaje

- **Interno (permeabilidad):** Muy rápido
- **Externo:** Rápido

Influencia antrópica. Usos: Media (deforestación, pastoreo). Espacio Natural Protegido (Paisaje Protegido de Siete Lomas)

Vegetación

- **Serie de vegetación:** Serie climatófila mesomediterránea mesofítica tinerfeña seca del pino canario (*Pinus canariensis*): *Sideritido solutae-Pineto canariensis sigmetum*
- **Comunidad vegetal:** Escobonal (*Sideritido solutae-Pinetum canariensis*, facie de *Chamaecytisus proliferus* ssp. *angustifolius*)
- **% de recubrimiento:** Suelo casi cubierto (40-80%)

Clasificación del suelo

- **WRB:** Andosol silándico fúlvico endoléptico (dístrico)
- **Soil Taxonomy:** Haploxerand álfico húmico

Tabla III.37. Perfil *Siete Lomas*. Descripción del suelo

| Horizonte | Prof. (cm) | |
|------------------|------------|---|
| A | 0-15 | Negro parduzco (7.5YR 3/2), húmedo; textura franco arenosa; estructura grumosa fina y media de tendencia <i>fluffy</i> ; muy friable; abundantes microporos, poros finos y muy finos; gravas y piedras irregulares muy abundantes; abundantes raíces medias, finas y muy finas, vivas y funcionales; reacción NaF negativa; límite con el horizonte inferior neto e interrumpido. |
| B ₁ C | 15-50/100 | Pardo (7.5YR 4/6), húmedo; textura franco limosa; estructura grumosa fina a muy fina; friable; abundantes microporos, poros finos y muy finos; gravas y piedras irregulares muy abundantes; abundantes raíces medias y finas y frecuentes muy finas, vivas y funcionales; presencia de júlidos; reacción NaF positiva muy lenta y débil; horizonte en forma de bolsas entre las piedras, muy discontinuo; límite con el horizonte inferior difuso e interrumpido. |

Tabla III.38. Parcela *Siete Lomas*. Inventario de la vegetación

| | Cobertura (%) | Densidad (ind. ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) |
|--|---------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Nanofanerófitos | | | |
| <i>Adenocarpus viscosus</i> (Willd.) Webb & Berth. | 14,9 | 1.100 | 0,43 |
| <i>Chamaecytisus proliferus</i> (L. fil.) Link | 61,3 | 1.750 | 10,8 |
| <i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter | <1 | - | - |
| <i>Sideritits oroteneriffae</i> Negrín & P. Pérez | 26,6 | 14.000 | 0,40 |
| Caméfitos | | | |
| <i>Andryala pinnatifida</i> Ait. | 2,8 | - | - |
| <i>Micromeria hyssopifolia</i> Webb & Berth. | 4,7 | 3.500 | 0,02 |
| <i>Rumex maderensis</i> Lowe | <1 | - | - |
| Hemicriptófitos | | | |
| <i>Piptatherum caerulescens</i> (Desf.) PB. | <1 | - | - |
| Terófitos | | | |
| <i>Avena barbata</i> Pott. ex Link | 1,9 | - | - |
| <i>Brachypodium distachyon</i> (L.) P. Beauv. | 10,9 | - | - |
| <i>Briza maxima</i> L. | 25,0 | - | - |
| <i>Bromus rigidus</i> Roth. | 3,6 | - | - |
| <i>Hedypnois cretica</i> (L.) Dum. Cours. | 7,4 | - | - |
| <i>Scandix pecten-veneris</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Silene gallica</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke | <1 | - | - |
| <i>Tolpis lagopoda</i> C. Sm. in Buch | 3,3 | - | - |
| <i>Trifolium scabrum</i> L. | <1 | - | - |
| <i>Tuberaria guttata</i> (L.) Fourr. | - | - | - |
| <i>Vulpia myurus</i> (L.) C.C. Gmel. | <1 | - | - |

Tabla III.39. Parcela *Siete Lomas*. Fitomasa y necromasa total (t ha⁻¹)

| | |
|-------------------------------|------|
| Fitomasa aérea | 11,6 |
| Fitomasa subterránea (raíces) | 5,91 |
| Necromasa (mantillo) | 1,61 |

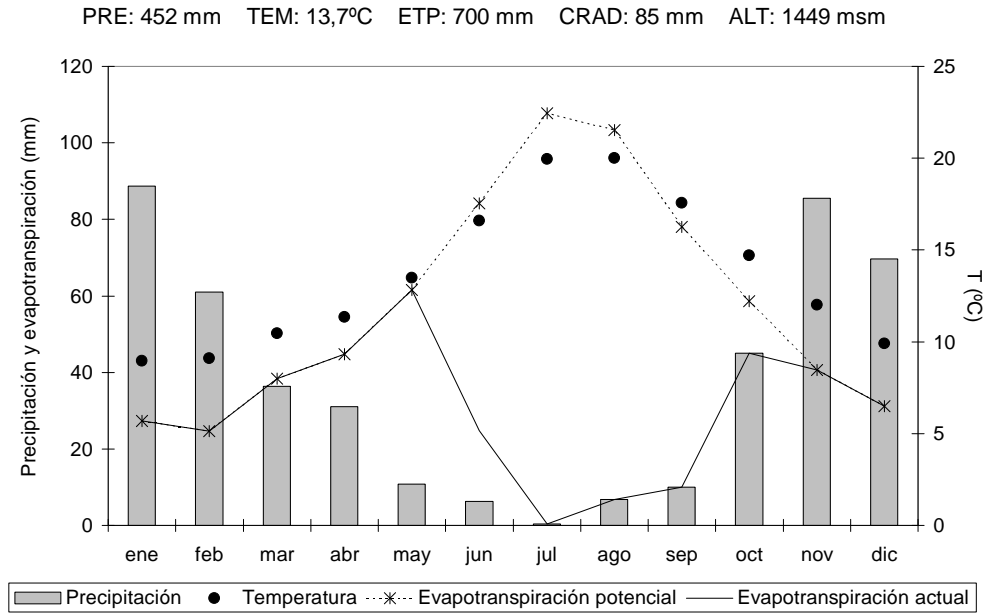


Figura III.10. Parcela *Siete Lomas*. Diagrama de Thornthwaite

| Tabla III.40. Perfil <i>Siete Lomas</i> . Resultados analíticos generales | | Horizonte | |
|---|-------------------------------------|----------------|-----------|
| | | A | B,C |
| Profundidad (cm) | | 0-15 | 15-50/100 |
| pH | H ₂ O | 5,2 | 4,9 |
| | KCl | 4,6 | 4,4 |
| Cationes cambiabiles (cmol (+) kg ⁻¹) | Ca ⁺² | 6,6 | 1,5 |
| | Mg ⁺² | 2,8 | 0,8 |
| | K ⁺ | 2,2 | 2,1 |
| | Na ⁺ | 0,2 | 0,4 |
| | CCC | 31,9 | 35,8 |
| | Al ³⁺ | 0,6 | 0,3 |
| Saturación de bases (%) | | 37,0 | 13,0 |
| C oxidable total (g kg ⁻¹) | | 123,8 | 47,5 |
| N total (g kg ⁻¹) | | 10,9 | 6,3 |
| Propiedades ándicas (%) | Fe _o | 0,8 | 0,9 |
| | Al _o | 3,0 | 3,9 |
| | Si _o | 1,0 | 1,6 |
| | Al _o + ½ Fe _o | 2,2 | 2,8 |
| | Fe _p | 0,2 | 0,2 |
| | Al _p | 0,7 | 0,9 |
| | Si _p | 0,1 | 0,2 |
| Retención de fosfato (%) | | 81,0 | 91,0 |
| Densidad aparente (Mg m ⁻³) | | 0,8 | 0,9 |
| Granulometría (g kg ⁻¹) | Elementos gruesos | 396 | 449 |
| | Arcillas | 69 | 129 |
| | Limos | 347 | 454 |
| | Arenas | 584 | 417 |
| | Textura | Franco-arenosa | Franca |
| Capacidad de retención de agua (g kg ⁻¹) | 33 kPa | 378 | 418 |
| | 1.500 kPa | 227 | 220 |
| | Agua útil | 152 | 198 |



Foto III.19. Panorámica de la parcela *Siete Lomas*: escobonal



Foto III.20. Perfil *Siete Lomas*: Andosol silándico fúlvico endoléptico (dístico) (ISSS-ISRIC-FAO, 2006); Haploxerand álfico húmico (Soil Survey Staff, 2006)

IV. ESTUDIO DE LOS RESERVORIOS DE CARBONO

IV.1. INTRODUCCIÓN

Abordamos aquí el estudio de los reservorios de carbono en sus distintas fracciones y de nitrógeno acumulados en los suelos de los ecosistemas seleccionados, en la biomasa (fitomasa aérea y subterránea) y en la necromasa (mantillo) en cada parcela considerada. Los datos brutos de la materia seca se detallan en la sección correspondiente a cada parcela en el Capítulo III. Adicionalmente, se analizaron otras características como son: la evolución de la relación C/N entre estos compartimentos, reflejo de los procesos de transformación de la materia orgánica (descomposición, mineralización, humificación); la razón fitomasa subterránea / aérea, considerada como un indicador del grado de estrés de la vegetación por algunos autores, que interpretan la elevada producción de raíces como una respuesta a condiciones adversas como la escasez de agua y nutrientes (Terradas, 2001); la cantidad de necromasa depositada sobre la superficie del suelo en relación a la biomasa vegetal aérea, que informa sobre la tasa de transformación de los restos vegetales; la proporción entre el carbono almacenado en la fitomasa y el carbono total del suelo; etcétera.

IV.2. ZONA COSTERA

IV.2.1. Parcela *Tabaibal de Rasca*

La parcela *Tabaibal de Rasca* incluye un tabaibal dulce halófilo en estado maduro, cuya biomasa dominan la tabaiba dulce (*Euphorbia balsamifera*) y ejemplares dispersos de cardón (*Euphorbia canariensis*); también abundan el gualdón (*Reseda scoparia*), el salado (*Schizogyne sericea*) y el tomillo marino (*Frankenia capitata*). La parcela se localiza en una llanura costera y está sometida a una erosión eólica severa. La eolización se manifiesta por la presencia de un pavimento pedregoso, el afloramiento del sistema radicular en algunos pies de planta, y en el aumento de la granulometría de las partículas por la pérdida de elementos finos.

Los suelos se clasifican como *Solonchaks hipersálicos* (*sódicos, clorídicos*) según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Haplosalids típicos* según la Taxonomía Americana de Suelos (Soil Survey Staff, 2006). Son suelos ricos en sales solubles, debido a los aportes por la maresía y a un régimen hídrico de tipo arídico que mantiene los suelos secos la mayor parte del año, dificultando su lavado. Algunas de las especies vegetales presentes en la parcela como el salado, el tomillo marino y el cosco (*Mesembryanthemum nodiflorum*), son halófilas o tolerantes a la salinidad e indicadoras de suelos salinos (Mora, 2008).

Las reservas estimadas de carbono y nitrógeno en suelo, fitomasa y necromasa (Figura IV.1 y Tabla IV.1) muestran una biomasa subterránea (2,43 t C ha⁻¹; 0,035 t N ha⁻¹; 5,47 t biomasa ha⁻¹) concentrada casi exclusivamente en los primeros 30 cm del suelo y mucho mayor que la aérea (0,49 t C ha⁻¹; 0,016 t N ha⁻¹; 1,32 t biomasa ha⁻¹). Este fenómeno se relaciona con la baja disponibilidad de agua y nutrientes en estos suelos, que obliga a las plantas a invertir más recursos en el desarrollo radicular (González *et al.*, 1986; Fernández-Palacios *et al.*, 1992; Terradas, 2001). En cuanto a la necromasa, su contribución a la reserva total del ecosistema es muy baja (0,074 t C ha⁻¹; 0,001 t N ha⁻¹; 0,185 t necromasa ha⁻¹), unas 40 veces menor que el carbono contenido en la biomasa vegetal. La relación C/N de la necromasa (53,8) es muy

superior a la encontrada en la fitomasa aérea (30,3). Esta diferencia es resultado del prolongado tiempo de residencia de los restos vegetales sobre la superficie del suelo, que se descomponen muy lentamente debido a la aridez reinante en la zona.

El contenido de carbono total del suelo (orgánico e inorgánico) es unas 6 veces mayor al contenido en la vegetación, con un predominio global de las formas orgánicas sobre las inorgánicas (80 y 20% del total respectivamente). El contenido de carbono orgánico del suelo es bajo (18,7 t ha⁻¹) y se concentra especialmente en los primeros 30 cm, con un contenido máximo de 4,9 t ha⁻¹ a 20-30 cm. La materia orgánica en estos suelos se acumula sin apenas transformarse (ver más adelante Secciones VII.3 y VII.4), de modo que en su práctica totalidad equivale a formas no-complejadas, con escaso grado de humificación. Por su parte, el carbono inorgánico del suelo tiende a acumularse en capas más profundas, entre 20-50 cm de profundidad. El nitrógeno presenta un patrón de distribución en el suelo muy similar al del carbono orgánico, con un contenido mayor en los primeros 30 cm, e inferior a más profundidad.

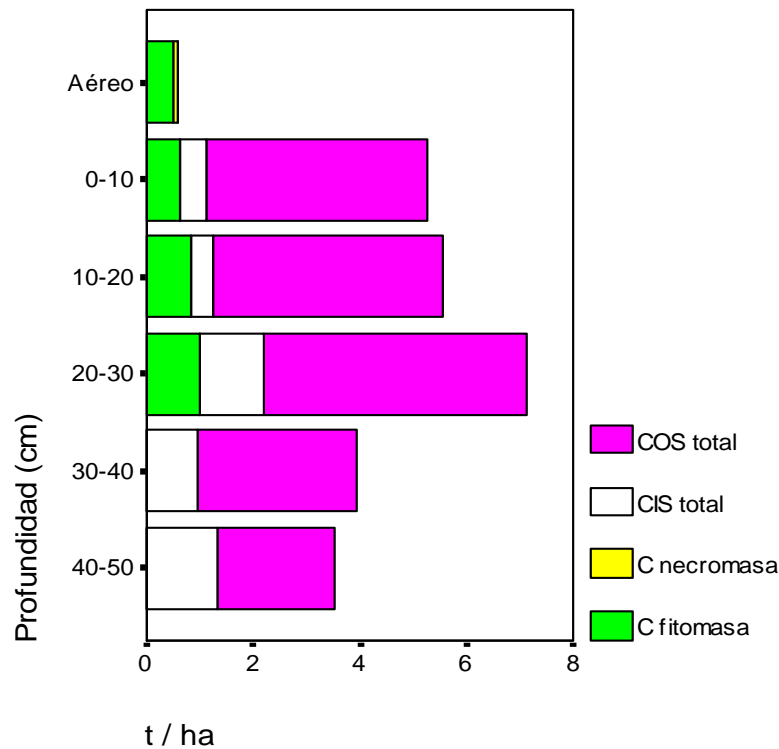


Figura IV.1. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Tabaiabal de Rasca*

| | | Suelo | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|-------|--------------------|------------|---------|------|--------------------|---------|-------|-----------|---------|-----|
| | | C-inorgánico | C-orgánico | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | | t ha ⁻¹ | | | | t ha ⁻¹ | | | | | |
| | | t ha ⁻¹ | | | | | | | | | |
| Aéreo | - | - | - | - | 0,49 | 0,016 | 30,3 | 0,074 | 0,001 | 53,8 | |
| Profundidad (cm) | 0-5 | 0,38 | 2,8 | 0,25 | 11,2 | 0,47 | 0,007 | - | - | - | |
| | 5-10 | 0,15 | 1,5 | 0,12 | 12,5 | 0,14 | 0,002 | - | - | - | |
| | 10-20 | 0,43 | 4,3 | 0,56 | 7,7 | 0,82 | 0,012 | - | - | - | |
| | 20-30 | 1,21 | 4,9 | 0,47 | 10,4 | 1,00 | 0,014 | - | - | - | |
| | 30-40 | 0,96 | 3,0 | 0,12 | 25,0 | 0,00 | 0,000 | - | - | - | |
| | 40-50 | 1,31 | 2,2 | 0,24 | 9,2 | 0,00 | 0,000 | - | - | - | |
| Total | 4,45 | 18,7 | 1,77 | 10,6 | 2,43 | 0,035 | 69,1 | - | - | - | |

IV.2.2. Parcela *Matorral de Rasca*

La parcela *Matorral de Rasca* se encuentra en una llanura próxima a la costa fuertemente venteada, con una vegetación de matorral de sustitución, con el salado (*Schizogyne sericea*), la ahulaga (*Launaea arborescens*) y el gualdón (*Reseda scoparia*) como especies vegetales dominantes.

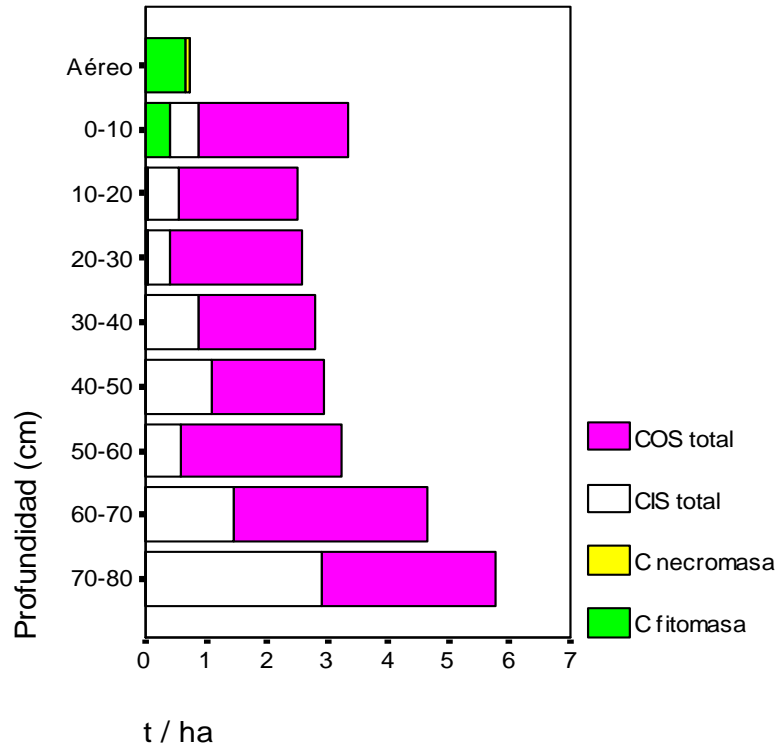


Figura IV.2. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Matorral de Rasca*

| | Suelo | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|------|--------------------|---------|-------|-----------|---------|------|
| | C-inorgánico | C-orgánico | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | t ha ⁻¹ | | | | t ha ⁻¹ | | | | | |
| Aéreo | - | - | - | - | 0,67 | 0,016 | 30,6 | 0,069 | 0,001 | 76,0 |
| Profundidad (cm) | 0-5 | 0,20 | 1,2 | 0,15 | 7,74 | 0,30 | 0,003 | - | - | - |
| | 5-10 | 0,26 | 1,3 | 0,17 | 7,56 | 0,10 | 0,001 | - | - | - |
| | 10-20 | 0,51 | 2,0 | 0,33 | 6,00 | 0,04 | 0,000 | - | - | - |
| | 20-30 | 0,36 | 2,2 | 0,33 | 6,48 | 0,04 | 0,000 | - | - | - |
| | 30-40 | 0,86 | 1,9 | 0,33 | 5,83 | 0,00 | 0,000 | - | - | - |
| | 40-50 | 1,09 | 1,8 | 0,44 | 4,19 | 0,00 | 0,000 | - | - | - |
| | 50-60 | 0,59 | 2,6 | 0,40 | 6,64 | 0,00 | 0,000 | - | - | - |
| | 60-70 | 1,44 | 3,2 | 0,47 | 6,82 | 0,00 | 0,000 | - | - | - |
| | 70-80 | 2,90 | 2,9 | 0,39 | 7,39 | 0,00 | 0,000 | - | - | - |
| Total | 8,20 | 19,1 | 3,01 | 6,34 | 0,49 | 0,005 | 96,1 | - | - | - |

Los suelos, clasificados como *Solonetz háplicos (arídicos)* según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Natrargids ácuicos* según la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006), se encuentran sometidos a procesos severos de degradación física y erosión. La degradación de la

estructura, favorecida por la elevada concentración de sodio en el complejo de cambio, se evidencia en la existencia de una costra de sellado superficial y en una gran compactación del suelo, especialmente en sus capas más profundas (horizontes B_t y B_tC), afectadas por procesos de iluviación de arcillas. La degradación física afecta también al drenaje del suelo, que se encharca habitualmente durante varias semanas al año. La erosión, sobre todo eólica, se manifiesta con la presencia de pavimento pedregoso, el afloramiento de los sistemas radiculares y una pérdida perceptible de elementos finos en superficie.

Los contenidos de carbono y nitrógeno en los diferentes compartimentos del ecosistema se muestran en la Figura IV.2 y la Tabla IV.2. La contribución de la vegetación a la reserva total de carbono y nitrógeno es de apenas un 4%, siendo sólo un poco mayor en la fitomasa aérea (0,67 t C ha⁻¹; 0,016 t N ha⁻¹; 1,60 t biomasa ha⁻¹) que en la subterránea (0,49 t C ha⁻¹; 0,005 t N ha⁻¹; 1,15 t biomasa ha⁻¹). Las raíces se concentran especialmente en los primeros 10 cm del suelo y disminuyen con la profundidad hasta casi desaparecer a partir de 30 cm. El carbono y nitrógeno aportado por la necromasa es también de escasa cuantía (0,069 t C ha⁻¹; 0,001 t N ha⁻¹; 0,168 t necromasa ha⁻¹), con una relación C/N (76,0) muy superior a la de los tejidos vivos aéreos (30,6), indicando un tiempo elevado de residencia de los restos vegetales depositados sobre el suelo, resultado de una baja descomposición.

El contenido de carbono total del suelo (orgánico e inorgánico) es bajo (27,3 t C ha⁻¹), con un predominio de las formas orgánicas sobre las inorgánicas (70 y 30% del total, respectivamente). El carbono orgánico del suelo se distribuye irregularmente en el perfil, existiendo un *pool* importante entre 50 y 80 cm de profundidad. Con las formas de carbono inorgánico sucede algo muy similar, con una distribución irregular a lo largo del perfil y una concentración mayor entre 60 y 80 cm. El nitrógeno del suelo alcanza su contenido máximo entre 40 y 80 cm, con valores ligeramente inferiores y prácticamente constantes en los primeros 40 cm.

IV.3. ZONA MONTANA HÚMEDA

IV.3.1. Parcela *Los Aceviños*

La parcela *Los Aceviños* se corresponde con una formación típica de laurisilva de valle, en buen estado de conservación y alto grado de madurez, con viñátigos (*Persea indica*) y laureles (*Laurus novocanariensis*) como especies arbóreas dominantes. Se ubica en un área geomorfológicamente inestable, y está por ello sometida a continuos aportes de nuevos materiales edáficos, así como a frecuentes caídas de troncos y ramas que suponen un elevado aporte de materia orgánica a los suelos.

Los suelos se clasifican como *Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos* (*éutricos, limosos*) según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Fulvudands éutricos páchicos* según la Taxonomía Americana (Soil Survey Staff, 2006). Se incluyen en el grupo de los llamados Andosoles no-alofánicos, caracterizados por un predominio de los complejos organometálicos frente a los minerales de bajo grado de ordenamiento, lo que normalmente se traduce en una gran acumulación de materia orgánica en el suelo. Son suelos ricos en bases de cambio, sobre todo

calcio y magnesio, en buena parte debido a su situación en un valle donde se acumulan los lixiviados procedentes de las laderas circundantes.

Los contenidos de carbono en suelo, fitomasa y necromasa se muestran en la Figura IV.3 y la Tabla IV.3. Los resultados obtenidos indican que el carbono contenido en el suelo casi duplica el contenido en la vegetación, del cual un 90% corresponde a fitomasa aérea y un 10% a subterránea. El carbono contenido en el mantillo es unas 65 veces menor que el contenido en la biomasa vegetal y constituye sólo una pequeña porción de la reserva total de carbono del ecosistema.

El suelo contiene una elevada cantidad de carbono orgánico (277 t ha^{-1} en total), de los que casi la mitad se concentra en los primeros 30 cm del suelo (132 t ha^{-1}). El contenido máximo se alcanza en superficie ($63,6 \text{ t ha}^{-1}$ entre 0-10 cm) y desciende hasta oscilar finalmente entre 10-19 t ha^{-1} cada 10 cm. Un nuevo incremento a partir de un metro de profundidad revela la existencia de un reservorio de carbono enterrado, correspondiente a material carbonizado, probablemente fruto de incendios antiguos o de la actividad tradicional de carboneo. El nitrógeno en el suelo se distribuye de modo similar al carbono orgánico. La gran penetración de la materia orgánica en el interior del suelo se explica por el aporte continuo de material vegetal y edáfico desde posiciones topográficas más elevadas hasta la zona de acumulación donde se encuentra la parcela.

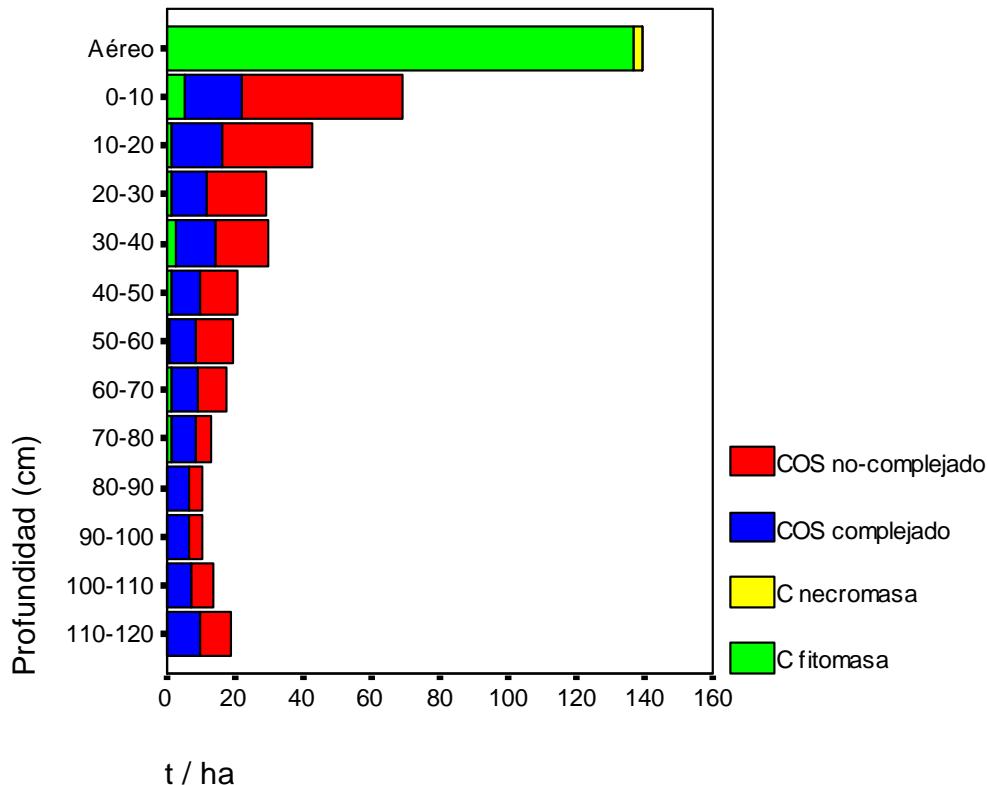


Figura IV.3. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Los Aceviños*

Tabla IV.3. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela *Los Aceviños*

| | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|------|--------------------|---------|------|
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 136,9 | 2,88 | 47,5 | 2,15 | 0,05 | 47,0 |
| Profundidad (cm) | 0-5 | 6,9 | 24,2 | 31,2 | 1,93 | 16,2 | 0,22 | 3,14 | 0,05 | - | - | - |
| | 5-10 | 9,6 | 22,8 | 32,4 | 2,14 | 15,1 | 0,30 | 2,17 | 0,04 | - | - | - |
| | 10-20 | 14,7 | 26,1 | 40,8 | 3,01 | 13,6 | 0,36 | 1,45 | 0,02 | - | - | - |
| | 20-30 | 10,0 | 17,9 | 28,0 | 2,17 | 12,9 | 0,36 | 1,32 | 0,02 | - | - | - |
| | 30-40 | 11,4 | 15,8 | 27,2 | 2,05 | 13,3 | 0,42 | 2,43 | 0,04 | - | - | - |
| | 40-50 | 8,6 | 10,6 | 19,2 | 1,29 | 14,9 | 0,45 | 1,29 | 0,02 | - | - | - |
| | 50-60 | 7,9 | 10,7 | 18,6 | 1,37 | 13,6 | 0,43 | 0,72 | 0,01 | - | - | - |
| | 60-70 | 8,0 | 8,2 | 16,2 | 1,28 | 12,7 | 0,49 | 1,15 | 0,02 | - | - | - |
| | 70-80 | 6,6 | 4,8 | 11,4 | 1,00 | 11,4 | 0,58 | 1,53 | 0,03 | - | - | - |
| | 80-90 | 6,8 | 3,7 | 10,5 | 0,85 | 12,4 | 0,65 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| | 90-100 | 6,2 | 3,9 | 10,1 | 0,88 | 11,5 | 0,61 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| | 100-110 | 7,2 | 6,1 | 13,3 | 1,05 | 12,7 | 0,54 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| | 110-120 | 9,4 | 9,2 | 18,6 | 1,50 | 12,4 | 0,51 | 0,00 | 0,00 | - | - | - |
| Total | 113,5 | 163,9 | 277,4 | 20,5 | 13,5 | 0,41 | 15,2 | 0,24 | 62,3 | - | - | - |

El estudio de la relación C/N revela una rápida transformación de la materia orgánica a través de los procesos de descomposición-mineralización-humificación. Los valores de la relación C/N del mantillo y de la fitomasa susceptible de incorporarse al mantillo son moderados, lo que favorece su rápida descomposición, como es propio de una bóveda del bosque rica en frondosas (94% de *Persea indica*; 6% de *Laurus novocanariensis*). La proporción C/N es muy similar en la necromasa y en las muestras de fitomasa analizadas, lo que probablemente indica un tiempo de residencia muy corto de la hojarasca sobre la superficie del suelo. Su transformación se verifica en una drástica variación de la relación C/N, que pasa de 47 en los tejidos vegetales muertos depositados sobre la superficie del suelo a tan sólo 16 en los primeros 5 cm del suelo. La relación C/N del suelo se reduce aún más con la profundidad, como resultado de unos procesos de humificación que se evidencian también en un enriquecimiento relativo del suelo en formas de carbono complejadas.

La cantidad de materia orgánica ligada a la materia mineral (C-complejado) muestra una variación suave con la profundidad, con contenidos de carbono complejo muy elevados ya en los primeros 10-20 cm. Por el contrario, las formas no-complejadas disminuyen bruscamente y de manera pronunciada, reflejo de una rápida transformación de los restos vegetales incluidos en esta fracción, no superando el 40% del carbono total a partir de los 80 cm de profundidad.

Las reservas de carbono y nitrógeno en la vegetación son mucho mayores en la fitomasa aérea (136,9 t C ha⁻¹; 2,88 t N ha⁻¹; 326 t biomasa ha⁻¹) que en la fitomasa subterránea (15,2 t C ha⁻¹, 0,24 t N ha⁻¹; 34,6 t biomasa ha⁻¹). La reserva de carbono en las raíces se concentra (dos tercios del total) en los primeros 40 cm del suelo, donde se encuentran la mayor parte de las raíces absorbentes, y prácticamente desaparece a partir de los 80 cm. Los valores del carbono y nitrógeno contenidos en el mantillo son mucho más bajos: 2,15 t C ha⁻¹, 0,05 t N ha⁻¹, 4,93 t necromasa ha⁻¹.

IV.3.2. Parcela *Los Noruegos*

La parcela *Los Noruegos* incluye una manifestación de laurisilva de ladera bien conservada, con escasa perturbación antrópica y elevado grado de madurez. Son dominantes la faya (*Myrica faya*), el laurel (*Laurus novocanariensis*), el acebiño (*Ilex canariensis*) y el brezo (*Erica arborea*). Su posición topográfica de ladera, con una pendiente superior al 50%, favorece los procesos de erosión hídrica y el lavado de los nutrientes. El espesor de los suelos es muy variable, de 50 a 120 cm de profundidad, según la posición que ocupen en la ladera.

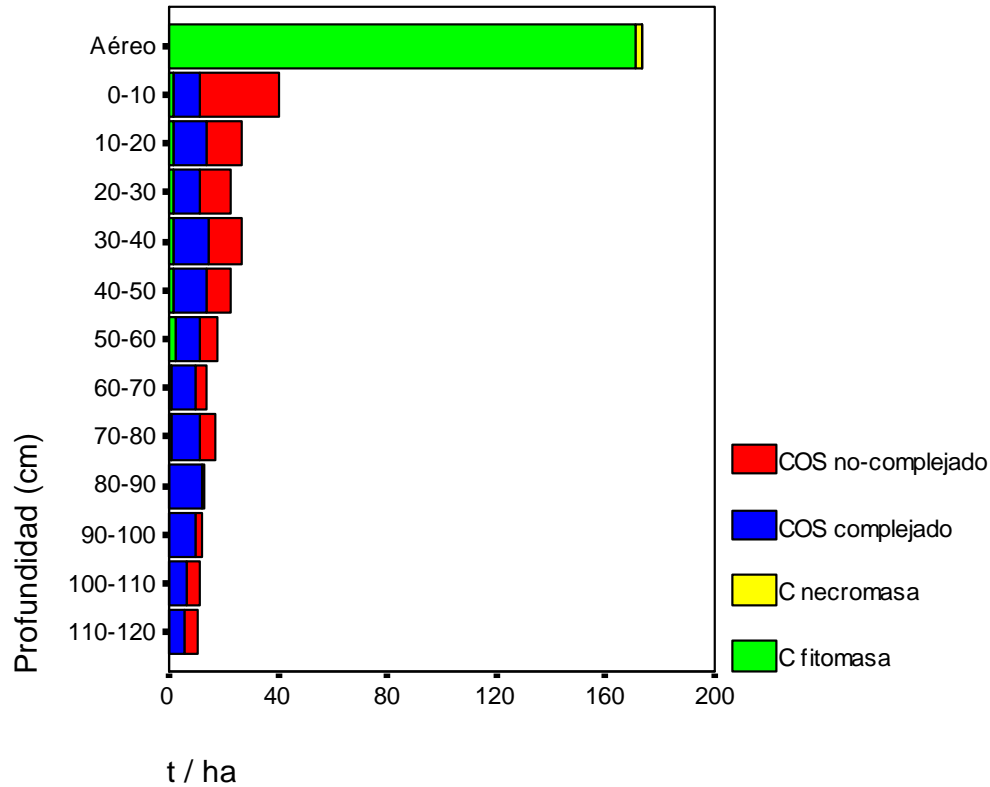
Los suelos son *Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos)* de acuerdo a la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Fulvudands páchicos* según la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006). Presentan un complejo de cambio intensamente lavado y muy rico en aluminio, sobre todo en el horizonte B_w (50-120 cm). Se trata en este caso de Andosoles alofánicos, caracterizados por un predominio de la materia mineral de bajo grado de ordenamiento (alofana, imogolita, ferrihidrita) frente a los complejos organometálicos. En estos suelos, las formas activas de aluminio se ligan de modo preferente al silicio para formar alofanos y forman menos complejos con la materia orgánica, lo que se traduce en suelos en general más pobres en materia orgánica que los no alofánicos.

Los contenidos de carbono en suelo, fitomasa y necromasa (Figura IV.4 y Tabla IV.4) indican que el suelo contiene 1,2 veces más carbono que la vegetación, en la cual un 93% del carbono está contenido en la fitomasa aérea y sólo un 7% en la subterránea. La contribución de la necromasa al total de carbono del ecosistema es muy baja, unas 90 veces menor que la de la biomasa vegetal.

El suelo presenta un elevado contenido de carbono orgánico (223 t ha⁻¹), un 50% del cual (110 t ha⁻¹) se localiza en los primeros 40 cm. El contenido máximo se alcanza en los primeros 10 cm (39,3 t ha⁻¹), disminuyendo de manera irregular con la profundidad hasta estabilizarse en 10-11 t ha⁻¹ cada 10 cm a 100-120 cm de profundidad. La distribución del contenido de nitrógeno total del suelo sigue un patrón similar.

Los procesos de complejación organo-mineral se producen de un modo extraordinariamente rápido, con un 39% de formas complejadas frente al carbono total a partir de 5-10 cm de profundidad. Las formas de C-complejado aumentan progresivamente con la profundidad en tanto que las formas no-complejadas disminuyen debido a los procesos de transformación de la materia orgánica. El suelo llega a alcanzar un grado de humificación muy elevado, con valores de complejación del 92% a 80-90 cm de profundidad.

Las reservas de carbono y nitrógeno en la biomasa vegetal son considerablemente mayores en la fitomasa aérea (171,1 t C ha⁻¹; 4,88 t N ha⁻¹; 394 t biomasa ha⁻¹) que en la subterránea (11,6 t C ha⁻¹; 0,21 t N ha⁻¹; 27,5 t biomasa ha⁻¹). La reserva de carbono en las raíces es prácticamente constante en los primeros 60 cm del suelo, con un promedio de 1,68 t C ha⁻¹ cada 10 cm, una disminución brusca a los 60-70 cm y su práctica desaparición a partir de los 80 cm. La contribución de la necromasa al total del ecosistema es baja (2,04 t C ha⁻¹; 0,05 t N ha⁻¹; 4,40 t necromasa ha⁻¹).


 Figura IV.4. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Los Noruegos*

| Profundidad (cm) | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|------|--------------------|---------|------|
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 171,1 | 4,88 | 35,0 | 2,04 | 0,05 | 45,3 |
| 0-5 | 4,4 | 20,6 | 25,0 | 1,44 | 17,4 | 0,18 | 0,46 | 0,01 | - | - | - | - |
| 5-10 | 5,6 | 8,7 | 14,3 | 0,78 | 18,3 | 0,39 | 0,93 | 0,02 | - | - | - | - |
| 10-20 | 12,0 | 13,0 | 25,0 | 1,37 | 18,2 | 0,48 | 1,79 | 0,03 | - | - | - | - |
| 20-30 | 9,1 | 11,4 | 20,6 | 1,19 | 17,3 | 0,44 | 1,85 | 0,03 | - | - | - | - |
| 30-40 | 13,1 | 12,2 | 25,3 | 1,45 | 14,4 | 0,52 | 1,41 | 0,03 | - | - | - | - |
| 40-50 | 12,0 | 9,0 | 21,0 | 1,31 | 16,0 | 0,57 | 1,59 | 0,03 | - | - | - | - |
| 50-60 | 9,6 | 6,3 | 16,0 | 0,93 | 17,2 | 0,60 | 2,02 | 0,04 | - | - | - | - |
| 60-70 | 9,0 | 4,1 | 13,2 | 0,85 | 15,5 | 0,68 | 0,84 | 0,02 | - | - | - | - |
| 70-80 | 10,3 | 5,7 | 16,0 | 0,96 | 16,7 | 0,64 | 0,72 | 0,01 | - | - | - | - |
| 80-90 | 12,1 | 1,1 | 13,2 | 0,80 | 16,5 | 0,92 | 0,00 | 0,00 | - | - | - | - |
| 90-100 | 9,7 | 2,4 | 12,1 | 0,77 | 15,7 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | - | - | - | - |
| 100-110 | 6,1 | 4,9 | 11,0 | 0,68 | 16,2 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | - | - | - | - |
| 110-120 | 5,3 | 5,0 | 10,3 | 0,62 | 16,6 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | - | - | - | - |
| Total | 118,5 | 104,5 | 223,0 | 13,2 | 16,9 | 0,53 | 11,6 | 0,21 | 54,9 | - | - | - |

La bóveda del bosque es rica en frondosas, con más de un 90% de cobertura de fayas (*Myrica faya*), laureles (*Laurus novocanariensis*) y acebiños (*Ilex canariensis*), y menos del 10% de esclerófilas, con el brezo (*Erica arborea*) como especie dominante. Como resultado, la relación C/N de la fitomasa analizada es baja (35), un poco mayor en el mantillo (45), indicando una descomposición menos eficiente que la observada en la parcela *Los Aceviños*, o tal vez una

mayor reabsorción de nitrógeno en los tejidos vegetales vivos antes de su senescencia. La transformación de los restos vegetales por medio de procesos de descomposición-mineralización-humificación se produce a una tasa elevada, lo que se verifica por la drástica disminución de la relación C/N, que pasa a ser de tan sólo 17 en los primeros 5 cm del suelo, variando muy poco con la profundidad ($16,5 \pm 1,0$).

IV.3.3. Parcela *Palos Pelados*

La vegetación de la parcela *Palos Pelados* la conforma un fayal-brezal de porte arbóreo, degradado y empobrecido con respecto al bosque maduro, con árboles de menor tamaño y troncos menos gruesos. Predominan el brezo (*Erica arborea*), la faya (*Myrica faya*) y, en menor medida, el acebiño (*Ilex canariensis*). La parcela se ubica en una ladera de pendiente suave (10-20%) con una incidencia fuerte de procesos erosivos (25-50% de erosión hídrica laminar) relacionada con la degradación de la cubierta vegetal.

Los suelos de la zona se clasifican como *Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos)* según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Fulvudands últicos* según la Taxonomía Americana de Suelos (Soil Survey Staff, 2006). Son Andosoles no-alofánicos profundos, con acumulación de arcillas en profundidad (65% en el horizonte B_t) y muy ricos en materia orgánica.

Los resultados obtenidos de las reservas de carbono en suelo, fitomasa y necromasa (Figura IV.5 y Tabla IV.5) sugieren que nos encontramos ante un suelo originado a partir de una vegetación mucho más exuberante que la actual, profundamente desvitalizada.

Según se observa, la biomasa de la vegetación es considerablemente menor que en las parcelas *Los Aceviños* y *Los Noruegos*. Esta diferencia es más notable en la fitomasa aérea, y menos evidente en la subterránea (73% y 27% de la biomasa, respectivamente) y en la necromasa (cuyo total de carbono es en este caso 43 veces menor que el de la vegetación).

Los suelos de este ecosistema presentan la mayor reserva de carbono orgánico de todas las áreas de estudio ($430,4 \text{ t C ha}^{-1}$), hasta 6 veces mayor que la de la vegetación. El contenido de carbono es muy elevado en todo el perfil, con un promedio de 45 t C ha^{-1} cada 10 cm hasta los 80 cm. El máximo se alcanza en los primeros 10 cm del suelo ($63,0 \text{ t C ha}^{-1}$) disminuyendo suavemente hasta los 40-50 cm, y aumentando entre 50 y 80 cm coincidiendo con la presencia de carbón (Sección III.6, Tabla III.17) resultado de un antiguo incendio o de la actividad tradicional de carboneo. A partir de los 80 cm el carbono disminuye nuevamente hasta alcanzar valores comprendidos entre 13 y 19 t C ha^{-1} . El nitrógeno, también muy abundante, presenta la misma pauta que el carbono orgánico.

La distribución de las formas complejadas y no-complejadas de carbono indica un patrón de humificación similar al descrito en la parcela *Los Noruegos*. El porcentaje de complejación es de un 44% ya a 5-10 cm de profundidad, y alcanza el 81% a 100-110 cm. Las formas no-complejadas, procedentes de la descomposición de los restos vegetales, disminuyen con la profundidad a medida que progresan los procesos de humificación y complejación organomineral. El contenido de formas complejadas alcanza su máximo a los 10-20 cm,

descendiendo a continuación. Ambas fracciones aumentan al alcanzar la capa enriquecida con carbón (50-80 cm), descendiendo de manera irregular a partir de los 80 cm.

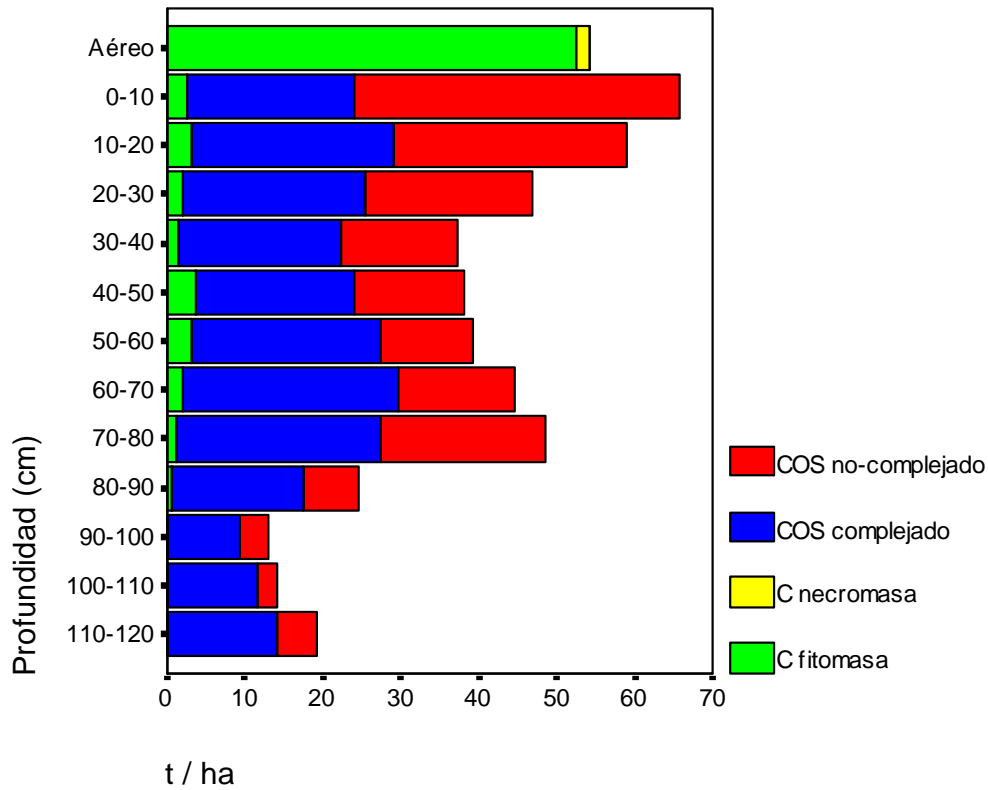


Figura IV.5. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Palos Pelados*

| Tabla IV.5. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Palos Pelados</i> | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|------|--|
| | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | | |
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N | |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 52,5 | 0,94 | 55,9 | 1,68 | 0,03 | 54,0 | |
| Profundidad (cm) | 0-5 | 8,8 | 25,7 | 34,4 | 1,92 | 17,9 | 0,26 | 0,81 | 0,01 | - | - | - | |
| | 5-10 | 12,6 | 16,0 | 28,6 | 1,66 | 17,2 | 0,44 | 1,84 | 0,02 | - | - | - | |
| | 10-20 | 26,2 | 29,7 | 55,9 | 2,98 | 18,8 | 0,47 | 2,98 | 0,03 | - | - | - | |
| | 20-30 | 23,6 | 21,3 | 44,9 | 2,51 | 17,9 | 0,53 | 1,85 | 0,02 | - | - | - | |
| | 30-40 | 20,9 | 15,0 | 35,9 | 2,20 | 16,3 | 0,58 | 1,43 | 0,01 | - | - | - | |
| | 40-50 | 20,3 | 14,3 | 34,5 | 1,93 | 17,9 | 0,59 | 3,63 | 0,03 | - | - | - | |
| | 50-60 | 24,3 | 11,9 | 36,1 | 1,61 | 22,4 | 0,67 | 3,06 | 0,03 | - | - | - | |
| | 60-70 | 27,8 | 14,7 | 42,5 | 1,82 | 23,4 | 0,65 | 1,99 | 0,02 | - | - | - | |
| | 70-80 | 26,1 | 21,1 | 47,2 | 1,80 | 26,2 | 0,55 | 1,21 | 0,01 | - | - | - | |
| | 80-90 | 17,0 | 7,2 | 24,2 | 1,28 | 18,9 | 0,70 | 0,53 | 0,01 | - | - | - | |
| | 90-100 | 9,3 | 3,6 | 12,9 | 0,78 | 16,5 | 0,72 | 0,14 | 0,00 | - | - | - | |
| | 100-110 | 11,4 | 2,6 | 14,0 | 0,87 | 16,1 | 0,81 | 0,00 | 0,00 | - | - | - | |
| | 110-120 | 14,2 | 4,9 | 19,1 | 1,30 | 14,7 | 0,74 | 0,00 | 0,00 | - | - | - | |
| Total | 242,4 | 188,1 | 430,4 | 22,7 | 19,0 | 0,56 | 19,5 | 0,17 | 116,3 | - | - | - | |

La vegetación aporta una biomasa aérea total de 117,6 t ha⁻¹ (52,5 t C ha⁻¹; 0,94 t N ha⁻¹), casi el triple que la biomasa subterránea (raíces) (19,5 t C ha⁻¹; 0,17 t N ha⁻¹; 42,5 t ha⁻¹ biomasa), lo que puede explicarse por el menor porte de las especies en este ecosistema, que tienden a desarrollar más su sistema radicular. El contenido de raíces varía de modo irregular con la profundidad, concentrándose en los primeros 60 cm, disminuyendo luego bruscamente para casi desaparecer en torno a los 100 cm. La cantidad de necromasa en forma de mantillo es ligeramente menor (3,57 t ha⁻¹ totales; 1,68 t C ha⁻¹; 0,03 t N ha⁻¹) que en las parcelas anteriores, con bosques próximos a la madurez.

La relación C/N de la hojarasca es moderada-alta (54,0), derivado de la abundancia en la misma de tejidos esclerófilos, aportados fundamentalmente por el brezo (*Erica arborea*). La relación C/N disminuye de manera brusca desde los primeros 5 cm del suelo y se mantiene prácticamente constante (16-18) hasta los 50 cm de profundidad, aumentando bruscamente en la capa enriquecida en carbón (valores de 26 a 70-80 cm) y reduciéndose de nuevo a valores de 14-16.

IV.3.4. Parcela Pajaritos

La parcela *Pajaritos* representa una etapa regresiva del monteverde, con una vegetación de porte fundamentalmente arbustivo, en un área de pendiente moderada (20-30%). Los suelos se encuentran en un estado avanzado de degradación, profundamente erosionados, con una importante reducción en el espesor del horizonte superficial orgánico. La zona albergó a mediados del siglo XX una plantación de *Pinus radiata*, eliminada en época reciente y de la cual pueden observarse aún algunos tocones dentro de la parcela (Fernández López, 1990, 2001). La vegetación actual es de una gran riqueza específica (37) (Sección III.7, Tabla III.22), dominada por las especies más agresivas y heliófilas del monteverde, caracterizadas en general por su capacidad para prosperar en suelos oligotróficos mediante micorrizas especializadas (en ericáceas y cistáceas) o nódulos de microbios simbióticos fijadores de nitrógeno (en leguminosas y miricáceas) (Vitousek & Walker, 1989; Matson, 1990; Terradas, 2001; Mora, 2008).

Los suelos se clasifican como *Luvsoles lépticos (húmicos, esqueléticos)* según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Haploxeralfs líticos ándicos* de acuerdo a la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006). Son suelos muy pedregosos y en general someros, aunque con un espesor muy variable, entre 40 y 70 cm de profundidad. Sus propiedades físico-químicas están próximas al carácter ándico: baja densidad aparente, alta retención de fósforo, un contenido alto de carbono orgánico y un valor de $Al_0 + \frac{1}{2} Fe_0$ próximo a 2. Es por ello muy posible que se tratase de un Andosol en el pasado y que, debido a la profunda perturbación a que ha estado sometido, haya perdido algunas de las características propias de los mismos.

Los resultados obtenidos en relación a los contenidos de carbono en suelo, fitomasa y necromasa (Figura IV.6 y Tabla IV.6) indican que el suelo contiene 5 veces más carbono que la vegetación (fitomasa aérea y subterránea), de la cual el 80% se corresponde con fitomasa aérea y el 20% restante con fitomasa subterránea. El porte arbustivo y herbáceo de la vegetación se refleja en una baja reserva de carbono y nitrógeno tanto en la fitomasa aérea (28,8 t C ha⁻¹; 0,55

t N ha⁻¹; 64,4 t biomasa ha⁻¹) como en la subterránea (7,35 t C ha⁻¹; 0,065 t N ha⁻¹; 16,6 t biomasa ha⁻¹). La reserva de carbono y nitrógeno de las raíces se concentra principalmente entre 20 y 50 cm. La razón fitomasa subterránea / aérea (0,26) es relativamente alta, revelando un mayor desarrollo del sistema radicular que en las parcelas de monteverde próximo a la madurez. La contribución de la necromasa a la reserva total de carbono y nitrógeno (0,51 t C ha⁻¹; 0,01 t N ha⁻¹; 1,17 t ha⁻¹ totales) es baja, unas 70 veces menor que la de la biomasa vegetal.

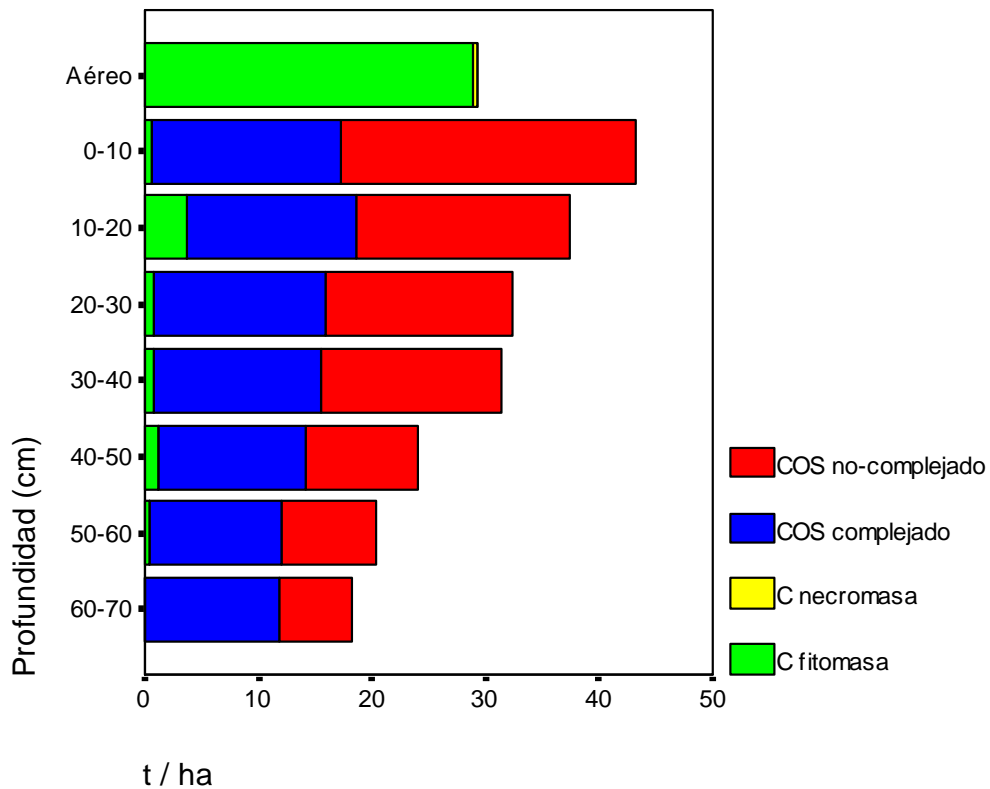


Figura IV.6. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Pajaritos*

| Profundidad (cm) | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|------|
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 28,8 | 0,55 | 52,3 | 0,51 | 0,007 | 70,6 |
| 0-5 | 8,6 | 13,7 | 22,3 | 1,20 | 18,6 | 0,38 | 0,30 | 0,003 | - | - | - | - |
| 5-10 | 8,1 | 12,3 | 20,4 | 1,20 | 17,0 | 0,40 | 0,29 | 0,003 | - | - | - | - |
| 10-20 | 15,0 | 18,7 | 33,7 | 1,81 | 18,6 | 0,45 | 3,64 | 0,032 | - | - | - | - |
| 20-30 | 15,1 | 16,5 | 31,6 | 1,62 | 19,5 | 0,48 | 0,79 | 0,007 | - | - | - | - |
| 30-40 | 14,8 | 15,9 | 30,7 | 1,61 | 19,1 | 0,48 | 0,74 | 0,007 | - | - | - | - |
| 40-50 | 13,0 | 9,9 | 22,8 | 1,29 | 17,7 | 0,57 | 1,16 | 0,010 | - | - | - | - |
| 50-60 | 11,5 | 8,5 | 20,0 | 1,11 | 18,0 | 0,57 | 0,42 | 0,004 | - | - | - | - |
| Total | 86,1 | 95,5 | 181,6 | 9,84 | 16,6 | 0,49 | 7,35 | 0,065 | 112,7 | - | - | - |

El contenido en carbono orgánico del suelo es alto, con un total de 181,6 t C ha⁻¹, máximo de 0 a 10 cm (42,7 t ha⁻¹), disminuyendo progresivamente con la profundidad. El caso del nitrógeno es similar, aunque se produce un enriquecimiento relativo entre 20-40 cm de profundidad, debido a la concentración a esa profundidad de las raíces de las leguminosas (*Adenocarpus foliolosus*) que enriquecen el suelo en nitrógeno a través de nódulos simbióticos fijadores de N₂. El grado de complejación organomineral se incrementa monotónicamente con la profundidad hasta un máximo de 57% a 50-60 cm, inferior al observado en casos anteriores con valores de hasta 80 y 90%. Las formas de carbono no-complejadas disminuyen progresivamente con la profundidad, aunque los valores se mantienen bastante altos hasta los 40 cm, probablemente a causa de un enriquecimiento en compuestos hidrocarbonados ricos en nitrógeno por las raíces de las leguminosas.

La relación C/N de la fitomasa aérea analizada es moderada-alta (52,3) debido al predominio de la esclerófila *Erica arborea*. Por su parte, la relación C/N de la necromasa es muy elevada (70,6) y revela una acumulación de restos vegetales de difícil descomposición sobre la superficie del suelo. En el suelo la relación C/N apenas varía en todo el perfil (17-19), aunque existe un cierto incremento entre 20-40 cm, debido a la abundancia de compuestos orgánicos ricos en nitrógeno procedentes de la fijación biológica de N₂.

IV.3.5. Parcela *Ravelo*

La parcela *Ravelo* alberga una plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal localizada en el dominio potencial del monteverde. La densidad de la plantación es muy superior a la que se da en los pinares canarios naturales, debido a lo cual los pinos de la parcela presentan un aspecto delgado y espigado característico. La parcela se encuentra en una ladera de pendiente suave (10-20%), con una baja incidencia erosiva, en contraste con la intensa erosión observada en áreas adyacentes desprovistas de vegetación forestal (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002b, 2004a).

Los suelos de la zona se clasifican como *Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos)* según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Fulvudands éutricos páchicos* de acuerdo a la Taxonomía americana (Soil Survey Staff, 2006). Los suelos son Andosoles alofánicos, con predominio de la materia mineral de bajo grado de ordenamiento (alofana, imogolita, ferrihidrita) frente a los complejos organo-metálicos. Presentan un gran lavado de bases en el complejo de cambio, sobre todo en los horizontes A₂ y B_w, con menos del 20% de saturación.

Los resultados obtenidos de las reservas de carbono (Figura IV.7 y Tabla IV.7) indican que el carbono contenido en el suelo duplica al contenido en la vegetación, del cual prácticamente el 99% se encuentra formando parte de los órganos aéreos (151,3 t C ha⁻¹; 2,97 t N ha⁻¹; 346,7 t ha⁻¹ totales) y sólo un 1% de los subterráneos (1,83 t C ha⁻¹; 0,022 t N ha⁻¹; 4,18 t ha⁻¹ totales). Esta proporción es muy inferior a los valores promedio de 80% / 20% referidos por Whittaker & Marks (1975) para las formaciones arbóreas. Ello podría explicarse por la elevada densidad de pinos en la parcela, que obliga a un gran desarrollo vertical de los vástagos aéreos en busca de luz, debido a la competencia entre los distintos pies de planta. La abundancia de raíces varía irregularmente con la profundidad, concentrándose en los primeros 10 cm y entre 30-50 cm,

para casi desaparecer a partir de los 90 cm. La reserva de carbono en el mantillo, unas 60 veces menor al carbono contenido en la biomasa, es una de las más altas que hemos encontrado (2,67 t C ha⁻¹, 0,036 t N ha⁻¹, 5,80 t ha⁻¹ totales), aunque al igual que en casos anteriores constituye sólo una pequeña porción del carbono total del ecosistema.

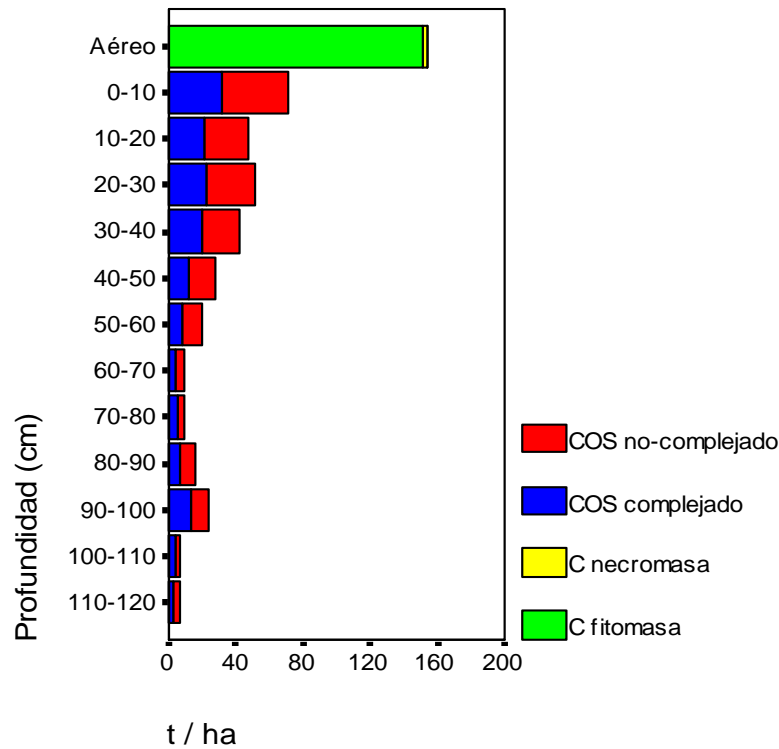


Figura IV.7. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Ravelo*

| Profundidad (cm) | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|------|--------------------|---------|------|
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 151,3 | 2,97 | 50,9 | 2,67 | 0,036 | 74,6 |
| 0-5 | 16,0 | 25,0 | 41,0 | 1,80 | 22,8 | 0,39 | 0,13 | 0,002 | - | - | - | - |
| 5-10 | 14,5 | 15,1 | 29,6 | 1,63 | 18,2 | 0,49 | 0,38 | 0,005 | - | - | - | - |
| 10-20 | 20,9 | 26,1 | 47,0 | 3,12 | 15,1 | 0,46 | 0,15 | 0,002 | - | - | - | - |
| 20-30 | 22,9 | 28,1 | 51,0 | 3,38 | 15,1 | 0,43 | 0,11 | 0,001 | - | - | - | - |
| 30-40 | 19,7 | 21,9 | 41,5 | 3,08 | 13,5 | 0,47 | 0,28 | 0,003 | - | - | - | - |
| 40-50 | 12,0 | 15,0 | 27,0 | 2,04 | 13,3 | 0,44 | 0,44 | 0,005 | - | - | - | - |
| 50-60 | 7,8 | 12,2 | 20,0 | 1,58 | 12,7 | 0,39 | 0,12 | 0,001 | - | - | - | - |
| 60-70 | 3,3 | 5,6 | 8,9 | 0,70 | 12,9 | 0,37 | 0,13 | 0,002 | - | - | - | - |
| 70-80 | 4,6 | 4,5 | 9,1 | 0,72 | 12,7 | 0,51 | 0,00 | 0,000 | - | - | - | - |
| 80-90 | 6,6 | 8,5 | 15,1 | 0,98 | 15,4 | 0,44 | 0,09 | 0,001 | - | - | - | - |
| 90-100 | 13,7 | 10,3 | 23,9 | 0,78 | 30,5 | 0,57 | 0,00 | 0,000 | - | - | - | - |
| 100-110 | 3,8 | 2,6 | 6,4 | 0,55 | 11,7 | 0,59 | 0,00 | 0,000 | - | - | - | - |
| 110-120 | 3,2 | 3,6 | 6,8 | 0,47 | 14,4 | 0,47 | 0,00 | 0,000 | - | - | - | - |
| Total | 148,9 | 178,6 | 327,5 | 20,8 | 15,7 | 0,45 | 1,83 | 0,022 | 84,2 | - | - | - |

El suelo presenta un gran contenido de carbono ($327,5 \text{ t ha}^{-1}$) y nitrógeno ($20,8 \text{ t ha}^{-1}$), la mitad ($168,6 \text{ t C ha}^{-1}$; $9,9 \text{ t N ha}^{-1}$) en los primeros 30 cm del suelo. El mayor contenido se detecta superficialmente, de 0-10 cm ($70,6 \text{ t C ha}^{-1}$; $3,4 \text{ t N ha}^{-1}$) y luego desciende poco a poco con la profundidad hasta alcanzar el horizonte B_w, donde disminuye bruscamente. Entre 80-100 cm se detecta un nuevo incremento en el carbono derivado de la presencia de trozos de carbón (Sección III.8, Tabla III.25) y desciende a partir de los 100 cm.

El grado de complejación de la materia orgánica del suelo, con un valor máximo de 59%, es bajo en relación con otros suelos ándicos del ecosistema del monteverde, que alcanzan un 80-90%. La presencia de una vegetación aciculifolia exótica con una hojarasca rica en tejidos esclerófilos podría ralentizar los procesos de descomposición, humificación y mineralización. No obstante, se observa un elevado grado de complejación en superficie (44% en los primeros 10 cm), lo que indica una rápida unión de la materia orgánica a la mineral, manteniéndose relativamente constante a mayor profundidad y aumentando sólo ligeramente a partir de los 100 cm (57-59%).

El estudio de la proporción C/N sugiere una acumulación relativa de restos vegetales recalcitrantes ricos en lignina sobre la superficie del suelo, que se pone de manifiesto en una relación C/N mucho más alta en el mantillo (74,6) que en la fitomasa aérea susceptible de incorporarse al mismo (50,9). En el suelo, se observa una disminución brusca de la relación C/N entre 0-20 cm (22,8 en los primeros 5 cm, 18,2 de 5-10 cm y 15,1 entre 10-20 cm), para luego descender más suavemente con la profundidad y estabilizarse en torno a 12-13. La presencia de restos de carbón entre 80-100 cm aumenta nuevamente la relación C/N para finalmente volver a disminuir.

IV.4. ZONA MONTANA SECA

IV.4.1. Parcela *Los Frailes*

Esta parcela incluye una muestra de pinar canario en su variante húmeda, en buen estado de conservación. El pino canario (*Pinus canariensis*) es la especie vegetal dominante, con un 74% de cobertura y un 95% de la biomasa. Otras especies arbóreas presentes en la parcela son el brezo (*Erica arborea*), el acebiño (*Ilex canariensis*) y la faya (*Myrica faya*). El sotobosque es escaso (<25% cobertura), siendo las especies más características las jaras (*Cistus monspeliensis* y *C. symphytifolius*).

Los suelos se clasifican como *Phaeozems lúvicos (arcillosos)* según WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Argiustolls ándicos* de acuerdo con la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006), son profundos (100-150 cm), y se caracterizan por la presencia de un horizonte superficial rico en materia orgánica, de estructura grumosa y textura franco-arcillosa, y un horizonte subsuperficial arcilloso, con evidencias de iluviación de arcillas, estructura masiva y pobre en materia orgánica.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el contenido de carbono en el suelo es 1,4 veces mayor que el de la vegetación (Figura IV.8 y Tabla IV.8). La reserva de carbono y nitrógeno es

muy superior en la fitomasa aérea ($88,0 \text{ t C ha}^{-1}$; $1,37 \text{ t N ha}^{-1}$; $197,9 \text{ t biomasa ha}^{-1}$) respecto a la subterránea ($6,88 \text{ t C ha}^{-1}$; $0,057 \text{ t N ha}^{-1}$; $15,9 \text{ t biomasa ha}^{-1}$). El carbono y nitrógeno ligado a las raíces presentan una distribución irregular en relación a la profundidad, presentando su valor máximo a 70-80 cm. La cantidad de necromasa depositada sobre la superficie del suelo es baja ($3,69 \text{ t ha}^{-1}$; $1,71 \text{ t C ha}^{-1}$; $0,017 \text{ t N ha}^{-1}$), y supone sólo una pequeña porción de la reserva total del ecosistema, 55 veces menor a la de la vegetación.

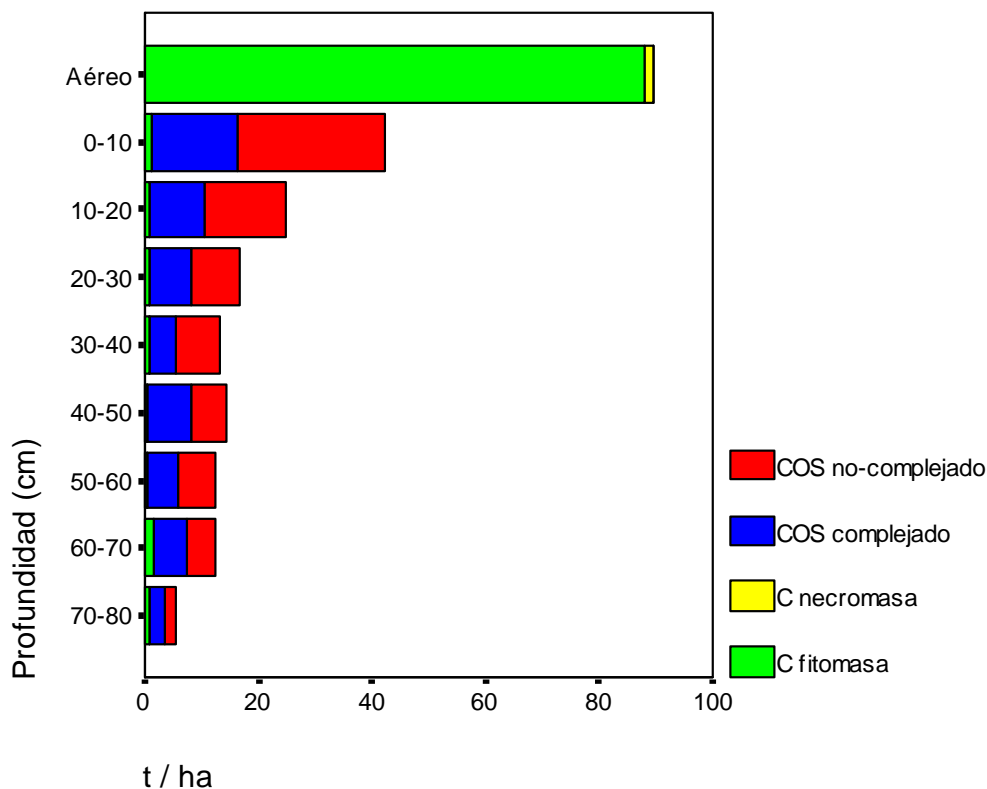


Figura IV.8. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Los Frailes*

| Profundidad (cm) | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|-------|
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 88,0 | 1,37 | 64,5 | 1,71 | 0,017 | 100,4 |
| 0-5 | 8,3 | 13,7 | 22,0 | 0,82 | 26,7 | 0,38 | 0,59 | 0,005 | - | - | - | - |
| 5-10 | 6,8 | 12,5 | 19,3 | 0,71 | 27,2 | 0,36 | 0,52 | 0,004 | - | - | - | - |
| 10-20 | 9,8 | 14,1 | 23,9 | 1,09 | 21,9 | 0,41 | 0,77 | 0,006 | - | - | - | - |
| 20-30 | 7,5 | 8,7 | 16,1 | 0,87 | 18,5 | 0,46 | 0,69 | 0,006 | - | - | - | - |
| 30-40 | 4,6 | 8,0 | 12,6 | 0,60 | 21,1 | 0,37 | 0,79 | 0,007 | - | - | - | - |
| 40-50 | 7,7 | 6,1 | 13,8 | 0,86 | 16,1 | 0,56 | 0,42 | 0,004 | - | - | - | - |
| 50-60 | 5,5 | 6,3 | 11,8 | 0,74 | 15,9 | 0,47 | 0,52 | 0,004 | - | - | - | - |
| 60-70 | 5,6 | 5,0 | 10,6 | 0,50 | 21,1 | 0,53 | 1,73 | 0,014 | - | - | - | - |
| 70-80 | 2,7 | 2,1 | 4,7 | 0,27 | 17,8 | 0,57 | 0,83 | 0,007 | - | - | - | - |
| Total | 58,5 | 76,3 | 134,8 | 6,45 | 20,9 | 0,43 | 6,88 | 0,057 | 119,8 | - | - | - |

El suelo contiene una cantidad moderada de materia orgánica ($134,8 \text{ t C ha}^{-1}$; $6,45 \text{ t N ha}^{-1}$), de la que casi la mitad se localiza en los primeros 20 cm ($65,2 \text{ t C ha}^{-1}$; $2,62 \text{ t N ha}^{-1}$), disminuyendo bruscamente en la transición entre ambos horizontes, y más suavemente a mayor profundidad. Las formas no-complejadas son especialmente abundantes en los primeros 20 cm debido a la acumulación, en el horizonte superficial, de restos vegetales poco transformados. La proporción de carbono en formas complejadas es bastante elevada desde los primeros centímetros del suelo (38%), y tiende a aumentar ligeramente con la profundidad.

El estudio de la relación C/N refleja unos procesos de humificación activos pero que parecen producirse más lentamente que en los Andosoles del monteverde. La fitomasa presenta una relación C/N elevada (64,5) típica de ecosistemas con predominio de especies esclerófilas (en este caso el pino canario). En la necromasa la proporción C/N es aún más alta (100,4) indicando un tiempo de residencia elevado de los restos vegetales sobre la superficie del suelo, debido a una tasa de transformación más lenta que en ecosistemas de frondosas. En el suelo, la relación C/N es considerablemente mayor en los primeros 10 cm (26,7 y 27,2) y varía de modo irregular a partir de los 20 cm.

IV.4.2. Parcela *Pinalito*

La parcela *Pinalito* tiene como vegetación un pinar canario en su variante xérica. Se trata de un bosque abierto, que se localiza en un área afectada periódicamente por incendios, y con un sotobosque muy pobre reducido a algunos especímenes aislados de corazoncillos (*Lotus campylocladus*) y magarzas (*Argyranthemum adauctum*).

Los suelos se encuentran profundamente erosionados, mostrando frecuentes regueros y afloramientos de horizontes subsuperficiales pedregosos y del material de origen. Los horizontes superficiales son ricos en restos vegetales carbonizados, resultado de los incendios que con frecuencia asolan la zona. El complejo de cambio es muy rico en bases en superficie, frente a un horizonte subsuperficial desaturado. Se clasifican como *Cambisoles lépticos* (*húmicos, dístricos*) según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Distroxerepts líticos* según la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006).

Los resultados (Figura IV.9 y Tabla IV.9) muestran unos valores de biomasa aérea ($215 \text{ t biomasa ha}^{-1}$; $92,6 \text{ t C ha}^{-1}$; $1,29 \text{ t N ha}^{-1}$) y subterránea ($17,2 \text{ t biomasa ha}^{-1}$; $7,71 \text{ t C ha}^{-1}$; $0,049 \text{ t N ha}^{-1}$) similares a los observados en *Los Frailes*, parcela con mayor densidad de individuos pero de menor desarrollo. El 92% de la biomasa vegetal se corresponde con fitomasa aérea mientras que sólo un 8% forma parte de la subterránea. La distribución de las raíces respecto a la profundidad muestra un patrón irregular, con una acumulación mayor entre 40-60 cm. La necromasa ($2,7 \text{ t C ha}^{-1}$; $0,026 \text{ t N ha}^{-1}$; $5,94 \text{ t totales ha}^{-1}$) presenta uno de los valores más altos observados hasta ahora, con casi el 2% del total de carbono en el ecosistema, unas 37 veces menor al carbono contenido en la biomasa.

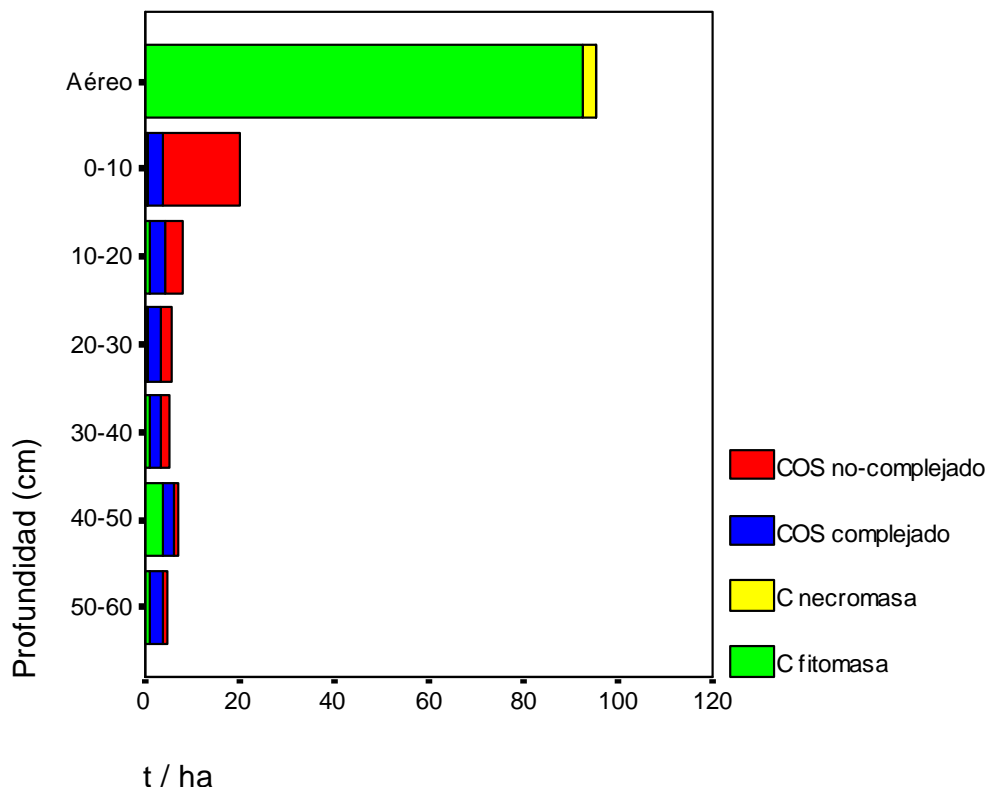


Figura IV.9. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Pinalito*

| Tabla IV.9. Distribución de los stocks de carbono y nitrógeno en la parcela <i>Pinalito</i> | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|------------|---------|---------|------|---------------------|--------------------|---------|-------|--------------------|---------|-------|--|
| Profundidad (cm) | Suelo | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | | |
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. C-total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N | |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 92,6 | 1,29 | 71,9 | 2,70 | 0,026 | 104,3 | |
| 0-5 | 2,3 | 12,7 | 14,9 | 0,27 | 54,5 | 0,15 | 0,18 | 0,001 | - | - | - | - | |
| 5-10 | 0,9 | 3,5 | 4,3 | 0,21 | 21,1 | 0,20 | 0,44 | 0,003 | - | - | - | - | |
| 10-20 | 3,3 | 3,6 | 6,9 | 0,35 | 19,4 | 0,47 | 0,95 | 0,006 | - | - | - | - | |
| 20-30 | 2,6 | 2,3 | 4,9 | 0,25 | 19,6 | 0,52 | 0,60 | 0,004 | - | - | - | - | |
| 30-40 | 2,6 | 1,8 | 4,4 | 0,25 | 18,0 | 0,58 | 0,85 | 0,005 | - | - | - | - | |
| 40-50 | 2,3 | 1,4 | 3,7 | 0,17 | 21,6 | 0,63 | 3,53 | 0,023 | - | - | - | - | |
| 50-60 | 2,4 | 0,9 | 3,3 | 0,17 | 19,5 | 0,72 | 1,15 | 0,007 | - | - | - | - | |
| Total | 16,3 | 26,2 | 42,5 | 1,67 | 25,4 | 0,38 | 7,71 | 0,049 | 156,2 | - | - | - | |

El total de carbono en el suelo (42,5 t ha⁻¹) contrasta con los altos contenidos de carbono en los Andosoles descritos en otras parcelas, y es considerablemente inferior al contenido en la vegetación (en torno a un 40%). Casi la mitad del carbono total del suelo se concentra en los primeros 10 cm, sobre todo de 0 a 5 cm (14,9 t ha⁻¹), para luego descender progresivamente con la profundidad. La distribución del nitrógeno sigue un patrón muy similar.

La especiación del carbono muestra un contenido bajo de formas complejadas, con escasas variaciones a lo largo del perfil. En cambio, las formas no-complejadas son muy abundantes en superficie (12,7 t ha⁻¹ a 0-5 cm) debido al acúmulo de restos vegetales carbonizados, aunque se

reducen drásticamente hasta alcanzar valores por debajo de 1 t ha^{-1} a 50-60 cm de profundidad. Como resultado, el grado de complejación de la materia orgánica aumenta progresivamente con la profundidad, desde valores del 15% en la proporción C-complejado / C-total en los primeros 5 cm hasta un 72% a partir de los 50 cm.

La relación C/N es muy elevada en la fitomasa aérea (71,8) y en la necromasa (104,3), próximos a los observados en *Los Frailes*, y relacionados con la abundancia de tejidos esclerófilos de los pinos y con la lenta transformación de los mismos, que prolonga su tiempo de residencia sobre el suelo. La mencionada acumulación de restos carbonizados en el horizonte superficial es responsable de la inusualmente elevada relación C/N en los primeros 5 cm del suelo (54,5), que sin embargo se reduce a partir de 5-10 cm y se mantiene en valores entre 18-22.

IV.4.3. Parcela *Siete Lomas*

En la parcela *Siete Lomas* la vegetación está compuesta por un matorral de leguminosas que prospera en una zona desforestada en el dominio potencial del pinar canario. Prácticamente el 98% de la biomasa vegetal de la zona la aporta el escobón (*Chamaecytisus proliferus*), con presencia de algunas otras especies leñosas como el codeso de monte (*Adenocarpus viscosus*) y la chahorra *Sideritis roteneriffae*, matos perennes como el tomillo de monte (*Micromeria hyssopifolia*) y diversas herbáceas ruderales efímeras. La parcela se ubica en la parte alta de una ladera muy pendiente (20-30 %), con evidencias de una erosión hídrica laminar extrema.

Los suelos de la zona se clasifican como *Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos)* según la WRB (ISSS-ISRIC-FAO, 2006) y *Haploxerands álficos húmicos* siguiendo la Taxonomía Americana (Soil Survey Staff, 2006), y se incluyen en el grupo de los Andosoles alofánicos, es decir, con predominio de materia mineral de bajo grado de ordenamiento (alofana, imogolita, ferrihidrita) frente a los complejos organometálicos. Sus características actuales sugieren su génesis a partir de Andosoles alofánicos forestales (similares a los estudiados en las parcelas de *Los Noruegos* y *Ravelo*) afectados por procesos degradativos intensos, manifiestos en un espesor reducido por la erosión, el afloramiento de horizontes subsuperficiales pedregosos y del material de origen, y una incipiente argilización.

Los resultados obtenidos del contenido de carbono (Figura IV.10 y Tabla IV.10) revelan una biomasa limitada, como corresponde al porte arbustivo de la vegetación. De ella, el 66 % forma parte de la fitomasa aérea ($11,6 \text{ t biomasa ha}^{-1}$, $5,13 \text{ t C ha}^{-1}$, $0,20 \text{ t N ha}^{-1}$) y el 34 % de la subterránea ($5,91 \text{ t biomasa ha}^{-1}$, $2,60 \text{ t C ha}^{-1}$, $0,092 \text{ t N ha}^{-1}$). La biomasa subterránea se concentra (85%) en los primeros 20 cm, y varía de modo irregular entre 30-60 cm. La necromasa ($0,74 \text{ t C ha}^{-1}$, $0,025 \text{ t N ha}^{-1}$, $1,61 \text{ t ha}^{-1}$ totales) constituye una fracción muy pequeña del total de carbono del ecosistema y su contenido es 10 veces menor que el carbono de la biomasa. En contraste, el suelo contiene una elevada reserva de carbono orgánico ($265,5 \text{ t ha}^{-1}$), unas 34 veces mayor que el de la vegetación. Casi el 60 % ($156,8 \text{ t ha}^{-1}$) se concentra en los primeros 20 cm del suelo, disminuye bruscamente entre 20-40 cm y lo hace de modo más suave a partir de los 40 cm.

El grado de unión de la materia orgánica a la fracción mineral es muy alto desde los primeros 5 cm del suelo (36 % de C-complejado vs. C-total), alcanzando el 60 % a sólo 10-20 cm. Sin embargo las formas no complejadas de carbono son excepcionalmente abundantes en todo el perfil, alcanzando un total de 127,6 t ha⁻¹. La abundancia de este tipo de compuestos en este suelo se debe a la descomposición de tejidos vegetales ricos en nitrógeno, tanto los que se depositan sobre la superficie del suelo como los procedentes de las raíces, así como a la liberación de exudados orgánicos al sistema edáfico por parte de las raíces noduladas. Estas formas orgánicas lábiles se concentran especialmente en los primeros 20 cm, donde la actividad biológica es intensa, disminuyen a mayor profundidad y se estabilizan en torno a 10 t ha⁻¹ a partir de los 30 cm.

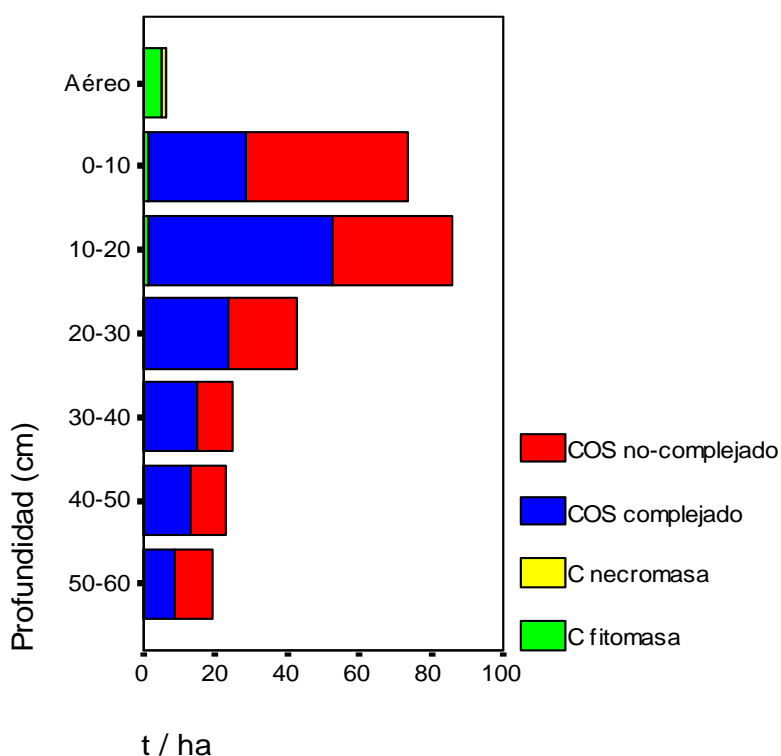


Figura IV.10. Distribución de los stocks de carbono en la parcela *Siete Lomas*

| Profundidad (cm) | Suelo | | | | | | | Fitomasa | | | Necromasa | | |
|------------------|--------------------|------------|---------|---------|------|-------------------|---------|--------------------|------|---------|--------------------|------|--|
| | C-comp. | C-no comp. | C-total | N-total | C/N | C-comp. vs. total | C-total | N-total | C/N | C-total | N-total | C/N | |
| | t ha ⁻¹ | | | | | | | t ha ⁻¹ | | | t ha ⁻¹ | | |
| Aéreo | - | - | - | - | - | - | 5,13 | 0,20 | 25,6 | 0,74 | 0,024 | 30,0 | |
| 0-5 | 14,8 | 26,2 | 41,0 | 3,73 | 11,0 | 0,36 | 0,77 | 0,027 | - | - | - | - | |
| 5-10 | 12,6 | 18,8 | 31,4 | 3,00 | 10,5 | 0,40 | 0,31 | 0,011 | - | - | - | - | |
| 10-20 | 51,4 | 32,9 | 84,4 | 7,00 | 12,0 | 0,61 | 1,13 | 0,040 | - | - | - | - | |
| 20-30 | 23,4 | 18,8 | 42,2 | 3,37 | 12,5 | 0,55 | 0,22 | 0,008 | - | - | - | - | |
| 30-40 | 14,6 | 10,1 | 24,7 | 2,34 | 10,6 | 0,59 | 0,04 | 0,001 | - | - | - | - | |
| 40-50 | 12,6 | 10,3 | 22,9 | 3,00 | 7,6 | 0,55 | 0,04 | 0,002 | - | - | - | - | |
| 50-60 | 8,5 | 10,4 | 18,9 | 1,49 | 12,7 | 0,45 | 0,10 | 0,003 | - | - | - | - | |
| Total | 137,9 | 127,6 | 265,5 | 23,9 | 11,1 | 0,52 | 2,60 | 0,092 | 28,1 | - | - | - | |

El contenido de carbono ligado a la materia mineral alcanza su valor máximo a 10-20 cm, y luego disminuye progresivamente. A la profundidad de 40-50 cm es posible observar un pronunciado incremento de los contenidos de nitrógeno total y de carbono en formas no complejadas y una reducción brusca de la relación C/N, asociados a un aumento igualmente significativo en la biomasa de raíces.

La relación C/N de los distintos compartimentos (fitomasa, necromasa, suelo) presenta los valores más bajos estudiados. Así, en la fitomasa aérea la proporción C/N es de 25,6, siendo sólo ligeramente mayor en la necromasa (30,0). Estos valores se consideran óptimos para una rápida descomposición de la materia orgánica, que se verifica en la drástica reducción de la relación C/N, que disminuye a 11,0 en los primeros 5 cm del suelo, sin variar apenas a lo largo del perfil.

IV.5. DISCUSIÓN

Los máximos reservorios de carbono en la biomasa vegetal se dan en las parcelas forestales de laurisilva en estado maduro (parcelas *Los Aceviños* y *Los Noruegos*) y en la plantación de *Pinus radiata* en dominio del monteverde (parcela *Ravelo*) (Figura IV.11). El valor medio de biomasa aérea en las parcelas con vegetación natural de monteverde (*Los Aceviños*, *Los Noruegos*, *Palos Pelados* y *Pajaritos*) es de 225,4 t ha⁻¹, muy similar al estimado por Aguilera Klink *et al.* (1994) (255 t ha⁻¹) para este ecosistema, y de una magnitud próxima a la de las pluvisilvas tropicales (60-800 t biomasa ha⁻¹) y bosques caducifolios templados (60-600 t biomasa ha⁻¹) (Terradas, 2001). En el caso de *Ravelo*, el elevado contenido de carbono en su fitomasa aérea se debe en buena medida a la artificialmente elevada densidad de pinos en la parcela (650 individuos ha⁻¹; Sección III.8, Tabla III.26), comparada con la de los pinares naturales de *Los Frailes* (272 individuos ha⁻¹; Sección III.9, Tabla III.30) y *Pinalito* (240 individuos ha⁻¹; Sección III.10, Tabla III.34). La biomasa aérea de los pinares naturales de nuestra zona de estudio (media de 206,4 t ha⁻¹) es muy superior a la citada para otros pinares en España (78,1 t ha⁻¹ para *Pinus halepensis* y 97,4 t ha⁻¹ en el caso de *Pinus sylvestris*) (Terradas, 2001) pero inferior a la referida por Aguilera Klink *et al.* (1994) para los pinares canarios (300-400 t ha⁻¹). La biomasa de los matorrales de sustitución del monteverde (64,4 t ha⁻¹ en *Pajaritos*) y pinar (11,6 t ha⁻¹ en *Siete Lomas*) es sensiblemente menor que la de las parcelas arbóreas, y presenta una mayor similitud con la de formaciones mediterráneas de carácter serial como las maquias (10-60 t ha⁻¹) (Terradas, 2001).

Por último, las parcelas de la zona costera (*Tabaibal de Rasca*, *Matorral de Rasca*) muestran biomazas muy bajas (1,58 t ha⁻¹ de media) relacionadas con su porte bajo, escasa cobertura (30-40%) y carácter suculento de la vegetación (Fernández-Palacios *et al.*, 1992; Fernández-Palacios & de los Santos, 1996). La biomasa de estas parcelas es claramente inferior a la estimación de Aguilera Klink *et al.* (1994) para el matorral costero de las Islas Canarias (8 t ha⁻¹), y está muy por debajo de los valores típicos en matorrales desérticos y subdesérticos (20-200 t ha⁻¹) (Terradas, 2001).

El contenido total de raíces en el suelo oscila entre 1,15 y 42,5 t ha⁻¹ para toda el área de estudio, con la reserva más alta en bosques de monteverde, intermedia en pinares, y menor en formaciones de matorral, especialmente en la zona costera (Tabla IV.11). Estos valores son

similares a los referidos por Jackson *et al.* (1996) y Terradas (2001) (2-50 t ha⁻¹ a nivel mundial), según los cuales la mayor cantidad de biomasa subterránea se da en los biomas forestales y matorrales esclerófilos, y la más baja en los matorrales desérticos, la tundra, los prados y las tierras cultivadas. En cuanto a la distribución de raíces, encontramos un 27% de las mismas en los primeros 10 cm del suelo, un 48% en los primeros 20 cm, y un 69% en los primeros 40. Estos datos coinciden con la revisión que hacen Jackson *et al.* (1996) a nivel mundial, y que refiere la presencia de un 30 % de las raíces de 0 a 10 cm de profundidad, un 50 % de 0 a 20 cm, y un 75 % de 0 a 40 cm (Tabla IV.11).

La cantidad de mantillo estimada oscila en las parcelas estudiadas entre 0,2 y 6,0 t ha⁻¹ y se correlaciona positivamente con la fitomasa aérea (Figura IV.12): mínima en la zona costera, intermedia en las parcelas arbustivas de la zona montana, y máxima en aquéllas con vegetación arbórea. Los resultados son algo inferiores a los obtenidos por Fernández-Palacios & de los Santos (1996) para los mismos ecosistemas (2,1-10,3 t ha⁻¹). Esta diferencia se debe, al menos en parte, a la inclusión en el mantillo que estos autores hacen, de los restos vegetales aún diferenciados presentes en los horizontes edáficos superficiales, y que nosotros hemos considerado como parte integrante de la materia orgánica del suelo (ver Sección II.4.2). Pese a su escasa contribución a la reserva total de carbono (0,2-1,9 %) (Figura IV.11), el mantillo es un componente fundamental del ecosistema al constituir tanto la vía principal de salida de nutrientes de las plantas como la vía de entrada de éstos al suelo, donde se producirá su reciclado (Mudrick *et al.*, 1994; Kavvadias *et al.*, 2001; Terradas, 2001; Hättenschwiler *et al.*, 2005). Retomaremos el estudio del mantillo más adelante (Sección V.1) para tratar aspectos dinámicos como la magnitud del desfronde, su composición química y su tasa de descomposición.

Entre los suelos, son los Andosoles bajo vegetación de monteverde o pinar, los que presentan un mayor stock de carbono (223-430 t C ha⁻¹) (Figura IV.11). Le siguen los restantes suelos de la zona montana: 182, 135 y 42,5 t C ha⁻¹ en Luvisoles, Phaeozems y Cambisoles, respectivamente. Los suelos con menor contenido de carbono se encuentran en la zona costera: 18,7 t C ha⁻¹ (Solonchaks) y 19,1 t C ha⁻¹ (Solonetz).

La estimación del contenido de carbono de los suelos ándicos de este estudio es congruente con los valores medios referidos por Rodríguez Rodríguez *et al.* (2002d, 2006) para los Andosoles del monteverde de la isla de La Gomera; por Morisada *et al.* (2004) para los Andosoles en Japón; y por Batjes (1996) a escala mundial (Tabla IV.12). Guerra (2009) obtuvo valores inferiores para los Andosoles de la zona montana húmeda de Tenerife, posiblemente por la inclusión en su estudio de Andosoles jóvenes con carácter vítrico junto a otros profundos y evolucionados, así como por la mayor degradación de este ecosistema en la isla de Tenerife. También la reserva de carbono orgánico en los demás suelos tiende a ser similar o superior a la referida por Guerra (2009) para las mismas unidades de suelo en los ecosistemas correspondientes de la isla de Tenerife (Tabla IV.13).

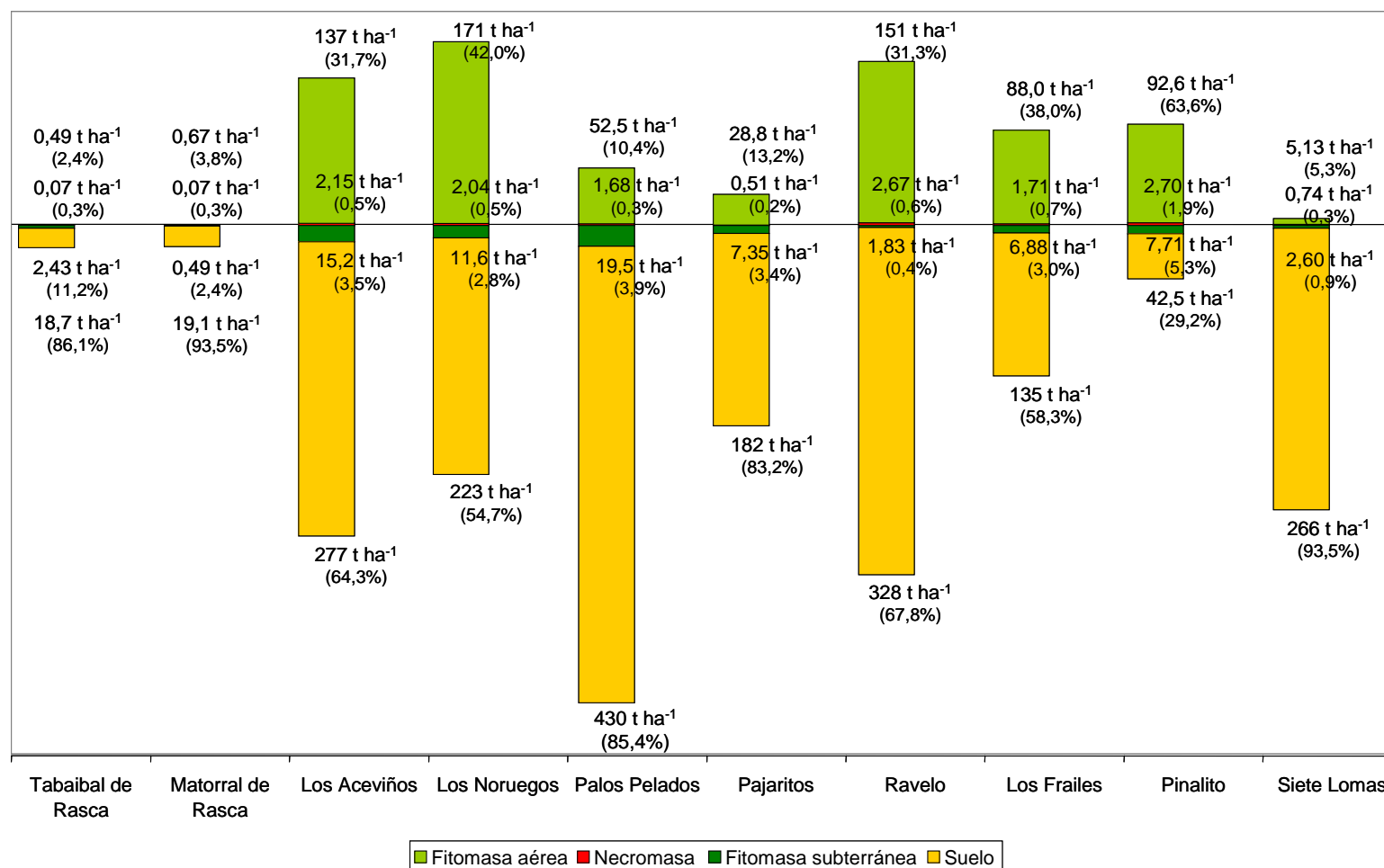


Figura IV.11. Reserva de carbono orgánico por compartimento ecosistémico en el área de estudio

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo, Solonchaks hipersálidos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución, Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: laurisilva de valle, Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera, Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: fayal-breza arbóreo, Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: breza arbustivo, Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-breza, Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: pinar húmedo, Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: pinar xérico, Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: escobonal, Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Parcela | Biomasa subterránea (%) | | | Biomasa subterránea total (t ha ⁻¹) |
|-------------------|-------------------------|-------------|-------------|---|
| | 0-10 cm | 0-20 cm | 0-40 cm | |
| Tabaibal de Rasca | 25,1 | 58,9 | 100 | 5,47 |
| Matorral de Rasca | 82,8 | 91,4 | 100 | 1,15 |
| Los Aceviños | 34,9 | 44,5 | 69,1 | 34,6 |
| Los Noruegos | 12,0 | 27,4 | 55,5 | 27,5 |
| Palos Pelados | 13,6 | 28,9 | 45,8 | 42,5 |
| Pajaritos | 8,1 | 57,6 | 78,5 | 16,6 |
| Ravelo | 28,1 | 36,2 | 57,6 | 4,18 |
| Los Frailes | 16,3 | 27,5 | 49,0 | 15,9 |
| Pinalito | 8,1 | 20,4 | 39,3 | 17,2 |
| Siete Lomas | 41,4 | 84,8 | 94,6 | 5,91 |
| PROMEDIO | 27,0 ± 22,7 | 47,8 ± 24,9 | 68,9 ± 23,1 | 17,1 ± 13,9 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

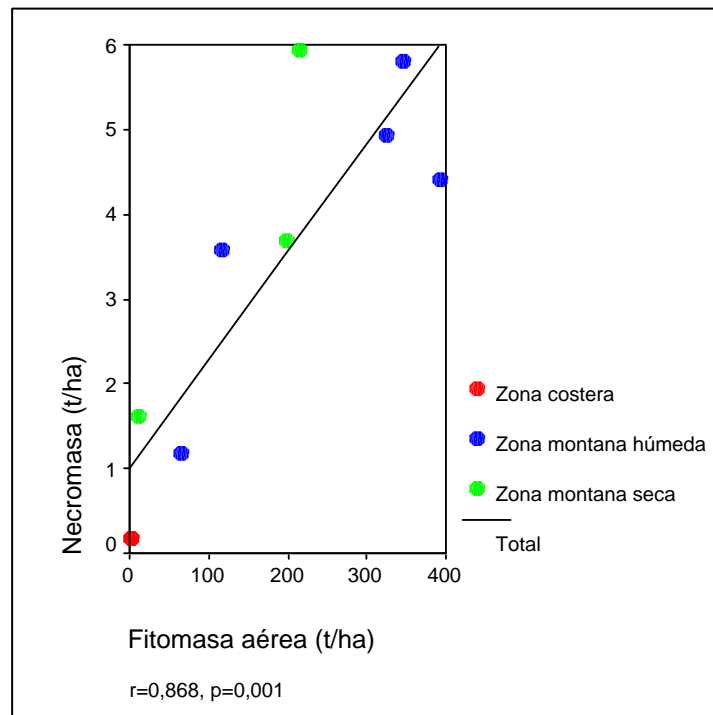


Figura IV.12. Correlación entre la fitomasa aérea y la necromasa

| | Resultados obtenidos | La Gomera ¹ | Tenerife ² | Japón ³ | Global ⁴ |
|----------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| 0-30 cm | 150 | 130 | 57 | 138 | 114 |
| 0-100 cm | 285 | 262 | 114 | 330 | 254 |
| 0-200 cm | 305 | 308 | 128 | - | 310 |

¹Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002d (N=23); ²Guerra, 2009 (N=17); ³Morisada *et al.*, 2004 (N=414); ⁴Batjes, 1996 (N=160)

| | t C ha ⁻¹ | |
|---------------------|----------------------|---------------|
| | Resultados | Guerra (2009) |
| Zona costera | | |
| Solonchaks | 19 | 26 |
| Solonetz | 19 | - |
| Zona montana húmeda | | |
| Luvisoles | 182 | 137 |
| Zona montana seca | | |
| Cambisoles | 43 | 62 |
| Phaeozems | 135 | 39 |

El análisis de la distribución del carbono orgánico con la profundidad en los suelos de nuestro estudio muestra que, como promedio, un 55% del mismo se concentra en los primeros 30 cm, un 33% entre 30 y 70 cm, y en torno al 12% a más de 70 cm (Tabla IV.14). Ello concuerda con los datos referidos por otros autores (Post *et al.*, 1982; Eswaran *et al.*, 1993; Sombroek *et al.*, 1993; Batjes, 1996, 1999; FAO, 2001; Morisada *et al.*, 2004) según los cuales prácticamente la mitad de la reserva de carbono orgánico del suelo se concentra en los primeros 30 cm, los más vulnerables a los efectos de los cambios de uso del suelo y al cambio climático. Es por esta razón que la mayoría de los estudios sobre la dinámica del carbono orgánico y la actividad biológica del suelo se realizan en esta fracción.

| Parcela | Carbono orgánico del suelo (%) | | |
|--|--------------------------------|------------|-------------|
| | 0-30 cm | 30-70 cm | > 70 cm |
| Tabaibal de Rasca Solonchaks hipersálicos / Haplosalids típicos | 72 | 28 | 0 |
| Matorral de Rasca Solonetz háplicos / Natrargids ácuicos | 35 | 50 | 15 |
| Los Aceviños Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos / Fulvudands éutricos páchicos | 48 | 29 | 23 |
| Los Noruegos Andosoles silándicos eutrosfílicos fúlvicos / Fulvudands páchicos | 38 | 34 | 28 |
| Palos Pelados Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos / Fulvudands últicos | 38 | 35 | 27 |
| Pajaritos Luvisoles lépticos / Haploxeralfs líticos ándicos | 60 | 40 | 0 |
| Ravelo Andosoles silándicos fúlvicos / Fulvudands éutricos páchicos | 51 | 30 | 19 |
| Los Frailes Phaeozems lúvicos / Argiustolls ándicos | 60 | 36 | 4 |
| Pinalito Cambisoles lépticos / Distroxerepts líticos | 73 | 27 | 0 |
| Siete Lomas Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos / Haploxerands álficos húmicos | 75 | 25 | 0 |
| PROMEDIO | 55,0 ± 15,3 | 33,4 ± 7,5 | 11,6 ± 12,0 |

Una información de interés que se extrae de los resultados obtenidos es la evolución de la relación C/N en los distintos reservorios de carbono: fitomasa aérea, hojarasca, mantillo y suelo, para cada uno de los ecosistemas considerados (Figuras IV.13-15). El análisis estadístico de la relación C/N (Tabla IV.15) revela la existencia de diferencias significativas entre los distintos

compartimentos, pero no así entre los distintos ecosistemas zonales estudiados. La relación C/N más elevada se da en las raíces, debido a su riqueza en tejidos de sostén. No se encontraron diferencias significativas entre la hojarasca recién incorporada y el mantillo que se acumula sobre el suelo, pero sí entre ambas fracciones y la fitomasa aérea activa. La relación C/N más baja se presenta en el suelo, donde la materia orgánica se ve profundamente transformada por los procesos de humificación.

| | Zona costera | Zona montana húmeda | Zona montana seca | F ₄ =28,3, p=0,000 |
|-------------------------------|--------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| Fitomasa aérea | 36,7 ± 6,4 | 48,3 ± 3,6 | 54,0 ± 14,4 | 47,7 ± 4,6 c |
| Fitomasa subterránea | 82,6 ± 13,5 | 86,1 ± 12,6 | 101,4 ± 38,1 | 90,0 ± 11,9 a |
| Hojarasca | 71,5 ± 16,0 | 59,1 ± 4,9 | 79,5 ± 27,5 | 67,7 ± 8,4 b |
| Mantillo | 64,9 ± 11,5 | 58,3 ± 6,0 | 78,2 ± 24,1 | 65,6 ± 7,6 b |
| Suelo | 8,5 ± 2,1 | 16,4 ± 0,89 | 19,1 ± 4,2 | 15,6 ± 1,7 d |
| F ₂ =0,37, p=0,703 | 52,8 ± 9,7 a | 53,6 ± 5,4 a | 66,5 ± 11,9 a | |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas (ANOVA de medidas repetidas/Test de Tukey, p≤0,05)

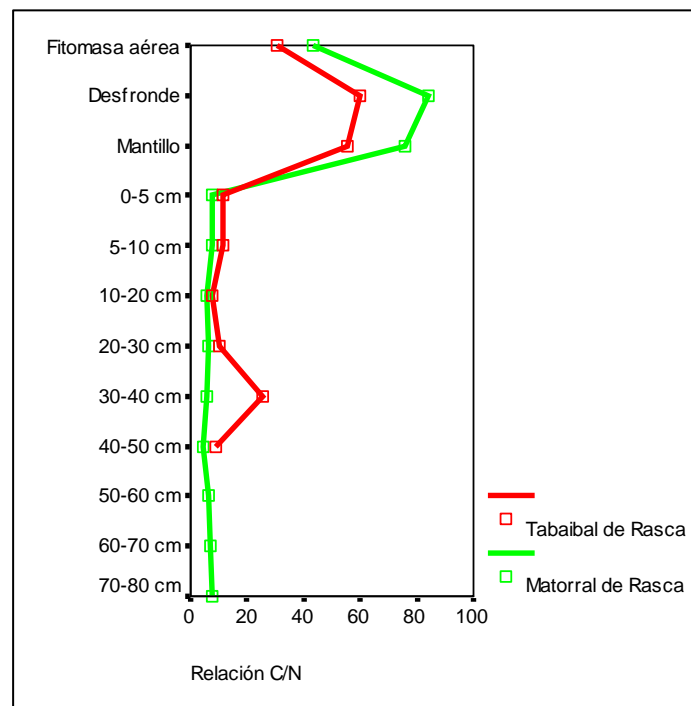


Figura IV.13. Relación C/N en los distintos compartimentos ecosistémicos. Zona costera

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo, Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución, Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos.

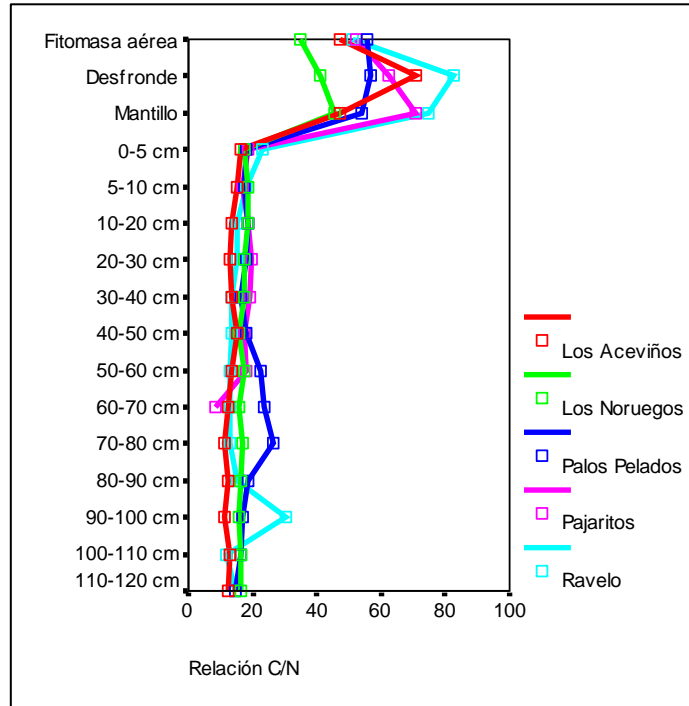


Figura IV.14. Relación C/N en los distintos compartimentos ecosistémicos. Zona montana húmeda

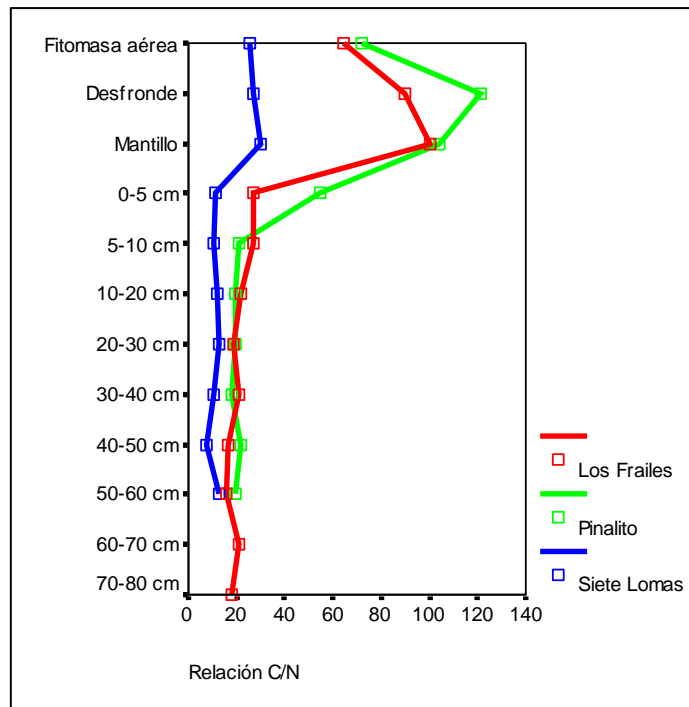


Figura IV.15. Relación C/N en los distintos compartimentos ecosistémicos. Zona montana seca

Leyenda: *Los Aceviños*: laurisilva de valle, Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera, Andosoles silándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo, Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: brezal arbustivo, Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal, Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: pinar húmedo, Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: pinar xérico, Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: escobonal, Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

La Tabla IV.16 analiza las proporciones entre distintos reservorios de carbono. La proporción entre el carbono contenido en las raíces de la vegetación y su porción aérea, muestra valores significativamente mayores en la zona costera respecto a las zonas montanas, así como en las parcelas con vegetación próxima a la madurez en relación a las degradadas. La ratio fitomasa subterránea / aérea se considera un valioso indicador del grado de estrés en la vegetación. Determinadas condiciones adversas como la escasez de agua y nutrientes pueden inducir en la vegetación una elevada producción de raíces, de forma que este cociente varía según el tipo de bioma y su estado de conservación (Terradas, 2001). Según Fernández-Palacios & de los Santos (1996) la razón fitomasa subterránea / aérea es relativamente constante para cada especie, asignándose generalmente a los árboles un valor promedio de 0,2 (Whittaker & Marks, 1975). A escala de comunidad, los valores más altos se alcanzan en matorrales desérticos, praderas y tundras (4-7), mientras que los más bajos se dan en ecosistemas forestales y tierras de cultivo (0,1-0,5) (Jackson *et al.*, 1996). Los valores de esta ratio en las parcelas estudiadas oscilan entre 0,01 y 4,14 (Tabla IV.17), algo inferiores a los rangos de variación referidos por Jackson *et al.* (1996) (0,1-7,0) y por Whittaker & Marks (1975) (0,05-7,0) para los principales biomas terrestres. El patrón observado en nuestro estudio concuerda con el descrito, con el promedio más bajo en los ecosistemas forestales (0,12), intermedio en los matorrales de las zonas montanas (0,39), y el mayor en los matorrales costeros (2,43).

| Tabla IV.16. Análisis estadístico de las proporciones entre distintos reservorios de carbono (t ha ⁻¹) | | | | |
|---|--------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| | C fitomasa subterránea / aérea | C fitomasa / C ecosistema | C suelo / C ecosistema | C fitomasa / C suelo |
| Ecosistema | | | | |
| F ₂ | 323 | 4,70 | 4,12 | 5,71 |
| Sig. | 0,000 | 0,089 | 0,107 | 0,067 |
| Zona costera | 2,84 ± 2,11 a | 0,08 ± 0,03 a | 0,92 ± 0,04 a | 0,09 ± 0,04 a |
| Zona montana húmeda | 0,16 ± 0,07 b | 0,29 ± 0,06 b | 0,71 ± 0,06 b | 0,45 ± 0,12 b |
| Zona montana seca | 0,22 ± 0,14 b | 0,39 ± 0,18 ab | 0,61 ± 0,20 ab | 1,04 ± 0,68 ab |
| Madurez | | | | |
| F ₁ | 183 | 12,8 | 12,8 | 20,5 |
| Sig. | 0,000 | 0,023 | 0,023 | 0,011 |
| Etapas maduras | 1,06 ± 0,97 a | 0,40 ± 0,09 a | 0,59 ± 0,10 a | 0,91 ± 0,38 a |
| Etapas regresivas | 0,37 ± 0,12 b | 0,15 ± 0,05 b | 0,85 ± 0,06 b | 0,20 ± 0,08 b |
| Ecosistema x Madurez | | | | |
| F ₂ | 231 | 2,30 | 2,81 | 4,88 |
| Sig. | 0,000 | 0,217 | 0,173 | 0,084 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas (ANOVA / Test de Tukey p<0,05) | | | | |

Por su parte, el cociente entre el carbono contenido en la fitomasa y en el suelo muestra valores bajos que sólo se aproximan a la unidad en la zona montana seca, y que reflejan reservas de carbono en los suelos que superan en casi todos los casos a las de la vegetación. La proporción entre los contenidos de carbono de la vegetación y del suelo disminuye significativamente en los ecosistemas degradados, debido a la pérdida más rápida de carbono que experimenta la biomasa respecto al suelo en respuesta a las perturbaciones. En nuestro estudio se observan evidencias muy claras de este comportamiento en los suelos de las parcelas *Palos Pelados*, *Pajaritos* y *Siete Lomas*. La gran estabilidad y resiliencia del stock de carbono del suelo pone de manifiesto su gran eficiencia como sumidero de carbono. Diversos autores

como Bouwman & Leemans (1995), Lal *et al.* (1999) y Macías (2004) afirman que el suelo tiene un potencial para secuestrar carbono mayor que el de la vegetación, por su mayor tiempo de residencia y menor riesgo de una rápida liberación.

| Tabla IV.17. Razón fitomasa subterránea / aérea | | | |
|---|---|---|-------|
| Parcela | Fitomasa subterránea (t ha ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) | Razón |
| Tabaibal de Rasca | 5,47 | 1,32 | 4,14 |
| Matorral de Rasca | 1,15 | 1,60 | 0,72 |
| Los Aceviños | 34,6 | 326,0 | 0,11 |
| Los Noruegos | 27,5 | 393,5 | 0,07 |
| Palos Pelados | 42,5 | 117,6 | 0,36 |
| Pajaritos | 16,6 | 64,4 | 0,26 |
| Ravelo | 4,18 | 346,7 | 0,01 |
| Los Frailes | 15,9 | 197,9 | 0,08 |
| Pinalito | 17,2 | 214,9 | 0,08 |
| Siete Lomas | 5,91 | 11,6 | 0,51 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

V. CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL CARBONO Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA

V.1. CARACTERÍSTICAS DEL DESFRONDE Y LA HOJARASCA

En este apartado se tratan aspectos relacionados con la hojarasca, tales como su dinámica estacional e interanual, composición química y tasas de descomposición.

El desfronde constituye uno de los flujos más importantes del ciclo del carbono en el ecosistema, al trasladar el carbono de la materia vegetal viva, en forma de hojarasca, al mantillo en la superficie del suelo, donde una porción se descompone y devuelve a la atmósfera y otra se incorpora al medio edáfico para unirse a los procesos de humificación.

Los componentes más importantes de los materiales vegetales son los carbohidratos (hasta un 80% de peso en seco), en su mayoría celulosa y hemicelulosa, y la lignina (hasta un 30%). Estos componentes se vuelven más abundantes a medida que las plantas envejecen, se produce su senescencia y se reabsorben otros componentes minoritarios como azúcares sencillos, aminoácidos, proteínas, ceras, resinas, ácidos orgánicos, etc. (Coyne, 2000; Porta *et al.*, 2003).

La calidad de la hojarasca se define a partir de parámetros tales como la proporción relativa de tejidos no-lignificados / lignificados, su relación C/N y composición química. Los tejidos no-lignificados proceden en su mayoría de hojas, flores y frutos y se caracterizan por presentar una menor proporción relativa de lignina y un contenido mayor de celulosa y hemicelulosa, de más rápida descomposición que la lignina. Por su parte, los tejidos lignificados (ramas, troncos) persisten mucho más tiempo en el medio, ya que existen pocos microorganismos que descompongan la lignina. Ésta se caracteriza por su gran tamaño y complejidad estructural, elevado grado de aromaticidad (es la fuente más rica de compuestos aromáticos de la naturaleza), carencia de nitrógeno e insolubilidad en agua, que ralentizan enormemente su descomposición.

V.1.1. Magnitud del desfronde

El desfronde en las parcelas de estudio oscila entre 0,32 y 8,75 t ha⁻¹ (Tabla V.1). Al igual que la necromasa (ver Sección IV.5), el desfronde se correlaciona positivamente con la fitomasa aérea, con los valores más bajos en la zona costera, intermedios en las parcelas arbustivas de la zona montana y máximo en las parcelas con vegetación arbórea madura (Figura V.1).

La producción de hojarasca en los bosques maduros (7,3 t ha⁻¹ año⁻¹ como promedio) es semejante a la referida por Rodin & Basilevic (1967) para bosques templados (9,0 t ha⁻¹ año⁻¹), sabanas secas (7,2 t ha⁻¹ año⁻¹) y taigas (5,0 t ha⁻¹ año⁻¹), y muy inferior a la de bosques subtropicales (21,3 t ha⁻¹ año⁻¹) y pluvisilvas tropicales (27,5 t ha⁻¹ año⁻¹). No obstante, de acuerdo a los criterios de Olson (1963) se consideraría como muy alta (> 4 t ha⁻¹), y comparable a la de bosques tropicales de Sudamérica, Centroamérica, Asia y Oceanía según Vitousek (1984). El desfronde de la zona costera (0,35 t ha⁻¹ año⁻¹) es muy bajo según Olson (1963) (< 0,5 t ha⁻¹), y menor que el de desiertos (0,7 t ha⁻¹ año⁻¹), matorrales semidesérticos (1,2 t ha⁻¹ año⁻¹), y tundras árticas (1,0 t ha⁻¹ año⁻¹) según Rodin & Basilevic (1967).

La producción relativa de hojarasca respecto a la fitomasa aérea constituye una medida aproximada de la tasa de renovación de la biomasa del ecosistema (Muukkonen & Lehtonen,

2004; Muukonen, 2005). En las parcelas de estudio, este índice distingue las localidades con vegetación arbórea (tasa de renovación < 0,05 años⁻¹) y arbustiva (> 0,05 años⁻¹) a causa de su distinta proporción de madera, de muy lento ciclado.

| Parcela | Desfronde medio (t ha ⁻¹ año ⁻¹) | Fitomasa aérea (t ha ⁻¹) | Tasa de renovación (años ⁻¹) |
|-------------------|---|--------------------------------------|--|
| Tabaibal de Rasca | 0,32 | 1,32 | 0,242 |
| Matorral de Rasca | 0,42 | 1,60 | 0,263 |
| Los Aceviños | 7,61 | 326,0 | 0,023 |
| Los Noruegos | 7,27 | 393,5 | 0,018 |
| Palos Pelados | 4,04 | 117,6 | 0,034 |
| Pajaritos | 3,84 | 64,4 | 0,060 |
| Ravelo | 6,70 | 346,7 | 0,019 |
| Los Frailes | 5,49 | 197,9 | 0,028 |
| Pinalito | 8,75 | 214,9 | 0,041 |
| Siete Lomas | 4,66 | 11,6 | 0,402 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

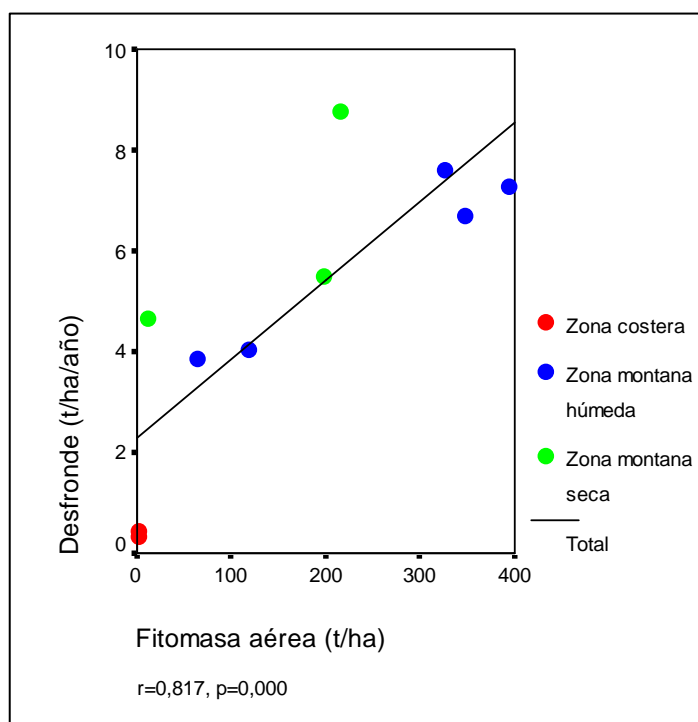


Figura V.1. Correlación entre la fitomasa aérea y el desfronde

V.1.2. Aportes de carbono y nitrógeno

Los resultados de la cuantificación de los aportes de carbono, nitrógeno y totales y la relación C/N de la hojarasca, por parcela, estación y año, considerando separadamente los tejidos lignificados (fundamentalmente ramas) y los no-lignificados (hojas, flores, frutos tiernos), se

analizan en las Tablas V.2-V.16 y representan en las Figuras V.2-V.7. Los datos brutos se detallan en las Tablas X.1-X.8 (Anexos).

i) ZONA COSTERA

En el ecosistema árido los patrones de desfronde se caracterizan por su carácter errático, sin que se observe ningún patrón estacional ni diferencias interanuales significativas (Tablas V.2-V.5; Figuras V.2.a-V.7.a). En la parcela *Tabaibal de Rasca*, con vegetación madura, los aportes de C y N se producen en proporciones similares en forma de tejidos lignificados y no-lignificados. En la parcela *Matorral de Rasca*, con vegetación degradada, la hojarasca se compone mayoritariamente de tejidos lignificados, de una relación C/N superior a los del *Tabaibal*. Este comportamiento es reflejo de las especies vegetales dominantes en la biomasa de las dos parcelas: de hoja caduca, en *Tabaibal*, y de hojas reducidas o ausentes en *Matorral*, en ambos casos como adaptación a la aridez.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

En las parcelas de la zona montana húmeda los aportes de C y N se producen mayoritariamente en forma de tejidos no-lignificados y tienden a ser mayores en las parcelas de mayor biomasa (Tablas V.6, V.7, V.9, V.10 y V.12; Figuras V.2, V.3, V.5 y V.6). La máxima caída de hojas tiende a producirse en verano, en la época de mayor temperatura y estrés hídrico. Por su parte, el mayor aporte de ramas suele darse en invierno y primavera coincidiendo con la incidencia de temporales de viento, siendo especialmente significativo el efecto de la tormenta tropical *Delta* (noviembre de 2005) en la parcela *Ravelo*. Apenas se observan diferencias entre años de muestreo, tan sólo en *Los Aceviños*, la parcela de mayor humedad y probablemente la más sensible a las variaciones interanuales del clima.

La relación C/N de las hojas caídas en la zona montana húmeda es menor en las parcelas en las que la bóveda del bosque está dominada por frondosas, y mayor cuando abundan las esclerófilas (Tablas V.8 y V.11; Figuras V.4 y V.7). En las parcelas con bosque maduro rico en frondosas (*Los Aceviños*, *Los Noruegos*) esta relación muestra un patrón estacional y resulta más alta en verano, indicando fenómenos de reabsorción de nutrientes como el nitrógeno durante la senescencia de las hojas. Esta tendencia es descrita por Terradas (2001), que refiere una menor eficiencia de las esclerófilas en la retranslocación de nutrientes previa al desfronde. Por su parte, la relación C/N de los tejidos lignificados es muy superior en las parcelas de plantación de pinos y matorral de sustitución. Este resultado podría indicar una menor vitalidad de la fitomasa en estas parcelas, en concordancia con lo indicado por Canadell & López (1998), que describen un empobrecimiento relativo en nutrientes como el nitrógeno en especies como *Erica arborea*, a causa del estrés por perturbaciones como las talas o incendios reiterados.

Tabla V.2. Aporte de carbono en forma de hojarasca (g m^{-2}) (media \pm e. t.) en la zona costera

| | Tejidos no-lignificados | | Tejidos lignificados | |
|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca |
| Estación | | | | |
| Primavera | 4,15 \pm 3,85 a | 0,01 \pm 0,01 a | 0,80 \pm 0,50 a | 3,35 \pm 0,65 a |
| Verano | 1,80 \pm 0,60 a | 0,08 \pm 0,08 a | 2,05 \pm 0,65 a | 3,95 \pm 0,55 a |
| Otoño | 0,80 \pm 0,30 a | 0,03 \pm 0,03 a | 1,00 \pm 0,40 a | 5,05 \pm 0,35 a |
| Invierno | 0,50 \pm 0,30 a | 0,00 \pm 0,00 a | 2,25 \pm 0,05 a | 5,60 \pm 1,10 a |
| F _{gl=3} | 0,60 | 1,96 | 2,07 | 1,96 |
| Significación | 0,656 | 0,297 | 0,282 | 0,297 |
| Año | | | | |
| 1 | 2,47 \pm 1,85 | 0,05 \pm 0,04 | 1,40 \pm 0,35 | 4,15 \pm 0,29 |
| 2 | 1,15 \pm 0,45 | 0,02 \pm 0,02 | 1,65 \pm 0,52 | 4,83 \pm 0,84 |
| F _{gl=1} | 0,39 | 0,85 | 0,24 | 0,85 |
| Significación | 0,578 | 0,424 | 0,656 | 0,424 |
| R ² | 0,423 | 0,692 | 0,683 | 0,692 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA/Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Tabla V.3. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (g m^{-2}) (media \pm e. t.) en la zona costera

| | Tejidos no-lignificados | | Tejidos lignificados | |
|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,06 \pm 0,05 a | 0,00 \pm 0,00 a | 0,01 \pm 0,01 a | 0,03 \pm 0,01 a |
| Verano | 0,04 \pm 0,01 a | 0,00 \pm 0,00 a | 0,03 \pm 0,01 a | 0,05 \pm 0,01 a |
| Otoño | 0,02 \pm 0,01 a | 0,00 \pm 0,00 a | 0,03 \pm 0,01 a | 0,08 \pm 0,03 a |
| Invierno | 0,01 \pm 0,00 a | 0,00 | 0,04 \pm 0,01 a | 0,07 \pm 0,01 a |
| F _{gl=3} | 0,43 | 0,57 | 0,91 | 1,83 |
| Significación | 0,745 | 0,673 | 0,529 | 0,316 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,04 \pm 0,03 | 0,00 \pm 0,00 | 0,02 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,01 |
| 2 | 0,03 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,03 \pm 0,01 | 0,07 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | 0,13 | 0,36 | 0,43 | 1,26 |
| Significación | 0,745 | 0,589 | 0,560 | 0,343 |
| R ² | 0,323 | 0,408 | 0,513 | 0,692 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA/Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Tabla V.4. Relación C/N de la hojarasca (media \pm e. t.) en la zona costera

| | Tejidos no-lignificados | | Tejidos lignificados | |
|-------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca |
| Estación | | | | |
| Primavera | 61,0 \pm 11,0 | nd | 60,2 \pm 6,60 a | 110,0 \pm 18,9 a |
| Verano | 51,7 \pm 2,98 | 39,7 | 61,4 \pm 6,33 a | 90,0 \pm 7,25 a |
| Otoño | 40,6 \pm 7,83 | nd | 44,2 \pm 7,66 a | 69,3 \pm 18,9 a |
| Invierno | 53,0 \pm 11,6 | nd | 61,9 \pm 8,84 a | 81,9 \pm 3,16 a |
| F _{gl=3} | 0,73 | nd | 1,18 | 1,14 |
| Significación | 0,598 | nd | 0,449 | 0,459 |
| Año | | | | |
| 1 | 54,1 \pm 6,56 | nd | 59,9 \pm 4,29 | 88,8 \pm 3,85 a |
| 2 | 49,0 \pm 6,49 | nd | 54,0 \pm 7,00 | 86,8 \pm 16,1 |
| F _{gl=1} | 0,28 | nd | 0,56 | 0,02 |
| Significación | 0,636 | nd | 0,510 | 0,907 |
| R ² | 0,452 | nd | 0,576 | 0,533 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA/Test de Tukey, $p \leq 0,05$)
 Nota: los valores de la parcela Matorral de Rasca señalizados con "nd" no pudieron ser determinados debido a la escasa cuantía de la muestra recolectada en el campo

| Tabla V.5. Análisis de los aportes de hojarasca (g m^{-2}) (media \pm e. t.) en el conjunto del ecosistema costero | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|--------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| | Total tejidos no-lignificados | | | Total tejidos lignificados | | |
| | C (g m^{-2}) | N (g m^{-2}) | Relación C/N | C (g m^{-2}) | N (g m^{-2}) | Relación C/N |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 2,08 \pm 1,98 a | 0,03 \pm 0,03 a | nd | 2,08 \pm 0,81 a | 0,02 \pm 0,01 a | 85,1 \pm 16,5 a |
| Verano | 0,94 \pm 0,55 a | 0,02 \pm 0,01 a | nd | 3,00 \pm 0,65 a | 0,04 \pm 0,01 a | 75,7 \pm 9,14 a |
| Otoño | 0,42 \pm 0,25 a | 0,01 \pm 0,01 a | nd | 3,03 \pm 1,19 a | 0,05 \pm 0,02 a | 56,7 \pm 11,0 a |
| Invierno | 0,25 \pm 0,19 a | 0,00 \pm 0,00 a | nd | 3,93 \pm 1,07 a | 0,05 \pm 0,01 a | 71,9 \pm 6,93 a |
| $F_{gl=3}$ | 0,95 | 3,62 | - | 3,62 | 6,14 | 2,71 |
| Significación | 0,518 | 0,159 | - | 0,159 | 0,085 | 0,217 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 1,26 \pm 0,97 | 0,02 \pm 0,01 | nd | 2,78 \pm 0,56 | 0,04 \pm 0,01 | 74,3 \pm 6,09 |
| 2 | 0,58 \pm 0,30 | 0,01 \pm 0,01 | nd | 3,24 \pm 0,75 | 0,05 \pm 0,01 | 70,4 \pm 10,2 |
| $F_{gl=1}$ | 0,59 | 0,07 | - | 0,07 | 4,95 | 0,57 |
| Significación | 0,499 | 0,812 | - | 0,812 | 0,112 | 0,505 |
| Parcela | | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 1,81 \pm 0,92 | 0,03 \pm 0,01 | nd | 1,53 \pm 0,30 | 0,03 \pm 0,01 | 56,9 \pm 3,96 |
| Matorral de Rasca | 0,03 \pm 0,02 | 0,00 \pm 0,00 | nd | 4,49 \pm 0,43 | 0,06 \pm 0,01 | 87,8 \pm 7,68 |
| $F_{gl=1}$ | 24,0 | 37,9 | - | 37,9 | 25,8 | 17,6 |
| Significación | 0,016 | 0,009 | - | 0,009 | 0,015 | 0,025 |
| Estación x Año | | | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 1,52 | 2,77 | - | 2,77 | 4,92 | 1,79 |
| Significación | 0,369 | 0,212 | - | 0,212 | 0,112 | 0,322 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,35 | 1,66 | - | 1,66 | 2,83 | 0,56 |
| Significación | 0,795 | 0,344 | - | 0,344 | 0,208 | 0,678 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 0,48 | 0,07 | - | 0,07 | 0,82 | 0,05 |
| Significación | 0,537 | 0,806 | - | 0,806 | 0,432 | 0,832 |
| R^2 | 0,918 | 0,954 | - | 0,954 | 0,961 | 0,918 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA/Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | | | |

Tabla V.6. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados, g m⁻²) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 34,1 ± 14,0 a | 72,4 ± 12,7 a | 28,3 ± 2,25 a | 28,1 ± 0,60 a | 28,7 ± 20,0 a |
| Verano | 73,9 ± 30,0 b | 85,0 ± 3,50 a | 78,6 ± 7,45 b | 65,4 ± 16,6 b | 22,2 ± 6,70 a |
| Otoño | 47,3 ± 10,1 ab | 55,7 ± 5,15 a | 34,3 ± 5,00 a | 48,5 ± 4,05 b | 78,0 ± 1,45 a |
| Invierno | 55,9 ± 14,7 ab | 86,2 ± 21,1 a | 22,2 ± 3,95 a | 23,8 ± 0,25 a | 93,1 ± 62,0 a |
| F _{gl=3} | 9,68 | 1,06 | 38,6 | 60,7 | 0,95 |
| Significación | 0,047 | 0,480 | 0,007 | 0,003 | 0,517 |
| Año | | | | | |
| 1 | 70,0 ± 12,2 | 70,5 ± 7,96 | 44,4 ± 14,2 | 46,4 ± 13,5 | 46,3 ± 11,0 |
| 2 | 35,6 ± 5,35 | 79,1 ± 11,5 | 37,3 ± 11,6 | 36,5 ± 5,99 | 64,7 ± 34,1 |
| F _{gl=1} | 15,4 | 0,38 | 2,94 | 0,41 | 0,26 |
| Significación | 0,029 | 0,580 | 0,185 | 0,566 | 0,647 |
| R ² | 0,960 | 0,544 | 0,975 | 0,984 | 0,508 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA/Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.7. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados, g m⁻²) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 0,81 ± 0,23 a | 1,87 ± 0,26 a | 0,52 ± 0,06 a | 0,55 ± 0,03 a | 0,05 ± 0,00 a |
| Verano | 1,29 ± 0,68 a | 1,98 ± 0,13 a | 1,52 ± 0,42 a | 0,99 ± 0,27 a | 0,02 ± 0,02 a |
| Otoño | 1,04 ± 0,42 a | 1,40 ± 0,11 a | 0,73 ± 0,22 a | 0,84 ± 0,07 a | 0,11 ± 0,09 a |
| Invierno | 1,79 ± 0,75 a | 2,44 ± 0,57 a | 0,42 ± 0,08 a | 0,38 ± 0,04 a | 0,52 ± 0,39 a |
| F _{gl=3} | 5,87 | 1,60 | 4,92 | 6,94 | 0,54 |
| Significación | 0,090 | 0,355 | 0,112 | 0,073 | 0,685 |
| Año | | | | | |
| 1 | 1,76 ± 0,32 | 1,79 ± 0,18 | 0,96 ± 0,34 | 0,77 ± 0,20 | 0,10 ± 0,04 |
| 2 | 0,71 ± 0,11 | 2,06 ± 0,34 | 0,63 ± 0,16 | 0,61 ± 0,08 | 0,24 ± 0,22 |
| F _{gl=1} | 53,7 | 0,65 | 1,78 | 0,04 | 0,31 |
| Significación | 0,005 | 0,479 | 0,274 | 0,864 | 0,618 |
| R ² | 0,960 | 0,645 | 0,846 | 0,874 | 0,392 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.8. Relación C/N de la hojarasca (tejidos no-lignificados) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 40,6 ± 5,57 a | 38,4 ± 1,45 ab | 54,7 ± 2,45 a | 50,9 ± 3,59 a | 50,6 ± 0,57 a |
| Verano | 62,2 ± 9,35 a | 43,0 ± 1,04 a | 54,5 ± 10,1 a | 66,7 ± 1,43 a | 38,8 ± 16,5 a |
| Otoño | 49,5 ± 10,5 a | 39,8 ± 0,62 ab | 49,5 ± 8,35 a | 57,8 ± 0,05 a | 81,0 ± 6,73 a |
| Invierno | 33,7 ± 5,99 a | 35,2 ± 0,46 b | 53,3 ± 0,97 a | 62,4 ± 6,54 a | 61,0 ± 1,33 a |
| F _{gl=3} | 2,82 | 9,57 | 0,16 | 2,41 | 3,37 |
| Significación | 0,209 | 0,048 | 0,916 | 0,245 | 0,172 |
| Año | | | | | |
| 1 | 41,5 ± 5,38 | 39,5 ± 1,90 | 48,8 ± 3,63 | 59,8 ± 4,78 | 60,8 ± 5,10 |
| 2 | 51,6 ± 8,59 | 38,8 ± 1,46 | 57,2 ± 2,71 | 59,1 ± 3,09 | 54,9 ± 13,5 |
| F _{gl=1} | 1,90 | 0,46 | 2,02 | 0,03 | 0,36 |
| Significación | 0,262 | 0,548 | 0,250 | 0,868 | 0,592 |
| R ² | 0,776 | 0,907 | 0,455 | 0,707 | 0,777 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.9. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos lignificados, g m⁻²) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 52,2 ± 41,5 a | 10,9 ± 2,45 a | 7,35 ± 4,75 a | 2,45 ± 1,25 a | 4,40 ± 0,50 a |
| Verano | 9,80 ± 5,30 a | 7,05 ± 3,05 a | 2,30 ± 1,10 a | 0,95 ± 0,65 a | 1,70 ± 1,40 a |
| Otoño | 45,7 ± 43,0 a | 7,35 ± 1,05 a | 1,70 ± 0,40 a | 0,35 ± 0,35 a | 12,5 ± 11,0 a |
| Invierno | 23,9 ± 0,15 a | 15,5 ± 10,4 a | 17,9 ± 3,95 a | 5,45 ± 0,85 a | 69,3 ± 51,6 a |
| F _{gl=3} | 0,32 | 0,44 | 6,31 | 5,75 | 1,27 |
| Significación | 0,813 | 0,741 | 0,082 | 0,092 | 0,425 |
| Año | | | | | |
| 1 | 33,9 ± 20,4 | 8,00 ± 1,05 | 5,50 ± 2,81 | 2,48 ± 1,04 | 12,3 ± 4,93 |
| 2 | 31,9 ± 19,4 | 12,4 ± 4,90 | 9,10 ± 4,95 | 2,13 ± 1,40 | 31,7 ± 29,8 |
| F _{gl=1} | 0,00 | 0,54 | 1,46 | 0,14 | 0,47 |
| Significación | 0,959 | 0,515 | 0,313 | 0,737 | 0,543 |
| R ² | 0,243 | 0,383 | 0,872 | 0,853 | 0,587 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.10. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos lignificados, g m⁻²) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 1,09 ± 0,93 a | 0,19 ± 0,04 a | 0,10 ± 0,07 a | 0,03 ± 0,02 a | 0,05 ± 0,03 a |
| Verano | 0,10 ± 0,06 a | 0,14 ± 0,03 a | 0,03 ± 0,02 a | 0,01 ± 0,00 a | 0,02 ± 0,02 a |
| Otoño | 0,24 ± 0,19 a | 0,14 ± 0,03 a | 0,03 ± 0,01 a | 0,04 ± 0,00 a | 0,11 ± 0,09 a |
| Invierno | 0,35 ± 0,04 a | 0,30 ± 0,20 a | 0,20 ± 0,02 a | 0,06 ± 0,01 a | 0,52 ± 0,39 a |
| F _{gl=3} | 0,81 | 0,44 | 4,42 | 4,85 | 1,96 |
| Significación | 0,566 | 0,741 | 0,127 | 0,114 | 0,297 |
| Año | | | | | |
| 1 | 0,65 ± 0,46 | 0,15 ± 0,02 | 0,07 ± 0,04 | 0,03 ± 0,01 | 0,10 ± 0,04 |
| 2 | 0,24 ± 0,09 | 0,24 ± 0,09 | 0,11 ± 0,05 | 0,02 ± 0,02 | 0,24 ± 0,22 |
| F _{gl=1} | 0,71 | 0,69 | 0,81 | 0,04 | 0,54 |
| Significación | 0,460 | 0,466 | 0,435 | 0,850 | 0,515 |
| R ² | 0,512 | 0,402 | 0,824 | 0,830 | 0,682 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.11. Relación C/N de la hojarasca (tejidos lignificados) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 55,8 ± 9,36 a | 57,7 ± 1,07 a | 79,1 ± 7,73 a | 82,4 ± 4,11 a | 90,9 ± 4,80 a |
| Verano | 104,2 ± 5,36 a | 46,5 ± 11,4 a | 71,6 ± 0,21 a | 114,8 ± 23,5 a | 96,3 ± 5,18 a |
| Otoño | 129,1 ± 75,1 a | 52,9 ± 3,40 a | 56,9 ± 3,96 a | 91,35 | 100,3 ± 20,6 a |
| Invierno | 70,0 ± 8,06 a | 53,4 ± 1,69 a | 85,9 ± 9,35 a | 87,8 ± 3,51 a | 133,4 ± 0,16 a |
| F _{gl=3} | 0,97 | 0,50 | 3,00 | 1,00 | 2,95 |
| Significación | 0,511 | 0,707 | 0,196 | 0,535 | 0,199 |
| Año | | | | | |
| 1 | 65,3 ± 11,6 | 54,8 ± 1,84 | 72,0 ± 7,11 | 102,6 ± 18,2 | 110,3 ± 10,1 |
| 2 | 114,2 ± 31,4 | 50,5 ± 5,32 | 74,7 ± 7,29 | 88,4 ± 1,77 | 100,2 ± 12,0 |
| F _{gl=1} | 2,10 | 0,44 | 0,14 | 0,86 | 0,81 |
| Significación | 0,243 | 0,555 | 0,734 | 0,452 | 0,435 |
| R ² | 0,625 | 0,394 | 0,753 | 0,659 | 0,763 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)
 Nota: no hubo aporte de tejidos lignificados en la Parcela *Pajaritos* en otoño del año 1, por lo que en la tabla aparece el dato bruto de otoño del año 2 de muestreo

| Tabla V.12. Análisis de los aportes de hojarasca (g m^{-2}) (media \pm e. t.) en el conjunto del ecosistema montano húmedo | | | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | Total tejidos no-lignificados | | | Total tejidos lignificados | | |
| | C (g m^{-2}) | N (g m^{-2}) | Relación C/N | C (g m^{-2}) | N (g m^{-2}) | Relación C/N |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 38,3 \pm 7,05 a | 0,86 \pm 0,19 a | 47,0 \pm 2,38 a | 15,4 \pm 8,79 ab | 0,29 \pm 0,19 ab | 73,2 \pm 5,09 a |
| Verano | 65,0 \pm 9,16 a | 1,28 \pm 0,20 a | 53,0 \pm 4,81 a | 4,36 \pm 1,50 a | 0,06 \pm 0,02 a | 86,7 \pm 9,15 a |
| Otoño | 52,7 \pm 5,17 a | 1,00 \pm 0,11 a | 55,5 \pm 5,16 a | 13,5 \pm 8,64 ab | 0,10 \pm 0,04 a | 85,5 \pm 16,8 a |
| Invierno | 56,2 \pm 14,1 a | 1,32 \pm 0,34 a | 49,1 \pm 4,34 a | 26,4 \pm 10,8 b | 0,29 \pm 0,08 b | 86,1 \pm 9,12 a |
| F _{gl=3} | 2,75 | 2,09 | 1,79 | 3,88 | 5,41 | 0,60 |
| Significación | 0,089 | 0,155 | 0,204 | 0,038 | 0,014 | 0,630 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 55,5 \pm 5,50 | 1,20 \pm 0,15 | 50,1 \pm 2,68 | 12,4 \pm 4,56 | 0,20 \pm 0,10 | 79,9 \pm 6,48 |
| 2 | 50,6 \pm 8,00 | 1,02 \pm 0,17 | 52,3 \pm 3,38 | 17,4 \pm 7,01 | 0,17 \pm 0,05 | 85,6 \pm 7,97 |
| F _{gl=1} | 1,28 | 1,48 | 0,62 | 0,02 | 0,02 | 0,47 |
| Significación | 0,280 | 0,248 | 0,447 | 0,893 | 0,890 | 0,509 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | 52,8 \pm 8,95 ab | 1,23 \pm 0,25 ab | 46,5 \pm 5,06 ab | 32,9 \pm 13,0 a | 0,44 \pm 0,23 a | 89,8 \pm 18,0 ab |
| Los Noruegos | 74,8 \pm 6,67 a | 1,92 \pm 0,19 a | 39,1 \pm 1,12 a | 10,2 \pm 2,46 ab | 0,19 \pm 0,05 a | 52,6 \pm 2,73 a |
| Palos Pelados | 40,8 \pm 8,60 b | 0,80 \pm 0,19 b | 53,0 \pm 2,64 ab | 7,30 \pm 2,72 ab | 0,09 \pm 0,03 ab | 73,4 \pm 4,74 ab |
| Pajaritos | 41,4 \pm 7,08 ab | 0,69 \pm 0,10 b | 59,4 \pm 2,64 b | 2,30 \pm 0,81 b | 0,03 \pm 0,01 b | 94,5 \pm 7,52 ab |
| Ravelo | 55,5 \pm 16,6 ab | 0,92 \pm 0,26 b | 57,9 \pm 6,77 b | 22,0 \pm 14,4 ab | 0,17 \pm 0,11 ab | 105,2 \pm 7,51 b |
| F _{gl=4} | 3,39 | 8,59 | 6,93 | 4,28 | 7,45 | 4,77 |
| Significación | 0,045 | 0,002 | 0,004 | 0,022 | 0,003 | 0,018 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,94 | 1,34 | 0,99 | 1,37 | 1,49 | 0,76 |
| Significación | 0,177 | 0,307 | 0,432 | 0,301 | 0,268 | 0,542 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | 2,30 | 1,42 | 2,81 | 0,63 | 0,89 | 1,22 |
| Significación | 0,082 | 0,278 | 0,043 | 0,783 | 0,578 | 0,377 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | 1,18 | 2,72 | 1,12 | 0,09 | 0,377 | 1,74 |
| Significación | 0,367 | 0,080 | 0,392 | 0,984 | 0,821 | 0,211 |
| R ² | 0,836 | 0,860 | 0,862 | 0,773 | 0,839 | 0,808 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | | | | |

iii) ZONA MONTANA SECA

El análisis de la hojarasca de las parcelas de la zona montana seca muestra fuertes contrastes entre las parcelas con pinar (*Pinalito, Los Frailes*) y la de matorral de leguminosas (*Siete Lomas*) (Tablas V.13-V.16; Figuras V.2.b-V.7.b). En la parcela de matorral se produce un menor aporte de tejidos lignificados y es la única en la que se observan tendencias estacionales estadísticamente significativas, registrando una mayor caída de hojas en verano y menor en invierno. También se distingue por la composición de la hojarasca lignificada y no-lignificada, de una relación C/N significativamente menor.

| Tabla V.13. Aporte de carbono en forma de hojarasca (g m^{-2}) (media \pm e. t.) en la zona montana seca | | | | | | |
|---|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Parcela | Tejidos no-lignificados | | | Tejidos lignificados | | |
| | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 20,5 \pm 6,80 a | 51,3 \pm 15,2 a | 46,8 \pm 16,0 ab | 8,45 \pm 0,25 a | 38,9 \pm 18,3 a | 22,1 \pm 20,3 a |
| Verano | 62,0 \pm 3,80 a | 53,3 \pm 2,25 a | 115,3 \pm 16,3 b | 9,05 \pm 1,95 a | 11,4 \pm 6,85 a | 1,75 \pm 0,55 a |
| Otoño | 57,6 \pm 26,6 a | 63,7 \pm 6,65 a | 16,6 \pm 4,80 a | 5,30 \pm 2,00 a | 27,8 \pm 15,4 a | 2,20 \pm 0,90 a |
| Invierno | 56,6 \pm 36,5 a | 68,5 \pm 50,9 a | 5,85 \pm 2,15 a | 35,5 \pm 29,6 a | 90,6 \pm 81,4 a | 0,50 \pm 0,30 a |
| $F_{gl=3}$ | 0,79 | 0,08 | 13,3 | 0,62 | 0,67 | 1,46 |
| Significación | 0,575 | 0,968 | 0,031 | 0,647 | 0,625 | 0,381 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 36,1 \pm 10,2 | 51,3 \pm 12,0 | 45,4 \pm 21,8 | 8,23 \pm 1,09 | 20,8 \pm 12,2 | 11,3 \pm 10,4 |
| 2 | 62,3 \pm 17,8 | 67,0 \pm 18,1 | 46,9 \pm 28,8 | 20,9 \pm 14,8 | 63,5 \pm 36,6 | 2,00 \pm 0,48 |
| $F_{gl=1}$ | 1,46 | 0,28 | 0,01 | 0,15 | 1,96 | 0,00 |
| Significación | 0,313 | 0,633 | 0,921 | 0,727 | 0,256 | 0,956 |
| R^2 | 0,561 | 0,146 | 0,930 | 0,401 | 0,569 | 0,594 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.14. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (g m^{-2}) (media \pm e. t.) en la zona montana seca | | | | | | |
|---|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Parcela | Tejidos no-lignificados | | | Tejidos lignificados | | |
| | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,24 \pm 0,05 a | 0,48 \pm 0,19 a | 2,27 \pm 0,64 ab | 0,07 \pm 0,00 a | 0,27 \pm 0,12 a | 0,47 \pm 0,46 a |
| Verano | 0,59 \pm 0,05 a | 0,46 \pm 0,06 a | 4,64 \pm 0,83 a | 0,08 \pm 0,14 a | 0,09 \pm 0,04 a | 0,05 \pm 0,02 a |
| Otoño | 0,84 \pm 0,49 a | 0,57 \pm 0,08 a | 0,58 \pm 0,28 ab | 0,05 \pm 0,01 a | 0,16 \pm 0,07 a | 0,09 \pm 0,05 a |
| Invierno | 0,73 \pm 0,50 a | 1,20 \pm 1,01 a | 0,30 \pm 0,08 b | 0,35 \pm 0,30 a | 0,61 \pm 0,51 a | 0,01 \pm 0,01 a |
| $F_{gl=3}$ | 0,86 | 0,41 | 10,5 | 0,84 | 0,73 | 0,77 |
| Significación | 0,550 | 0,759 | 0,042 | 0,554 | 0,600 | 0,582 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,38 \pm 0,09 | 0,49 \pm 0,10 | 1,85 \pm 0,89 | 0,07 \pm 0,01 | 0,16 \pm 0,08 | 0,25 \pm 0,23 |
| 2 | 0,82 \pm 0,27 | 0,86 \pm 0,45 | 2,04 \pm 1,18 | 0,21 \pm 0,15 | 0,40 \pm 0,24 | 0,06 \pm 0,28 |
| $F_{gl=1}$ | 1,32 | 0,44 | 0,10 | 0,80 | 0,83 | 0,65 |
| Significación | 0,334 | 0,553 | 0,769 | 0,438 | 0,430 | 0,480 |
| R^2 | 0,564 | 0,358 | 0,913 | 0,525 | 0,501 | 0,496 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Tabla V.15. Relación C/N de la hojarasca (media \pm e. t.) en la zona montana seca

| Parcela | Tejidos no-lignificados | | | Tejidos lignificados | | |
|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 84,0 \pm 11,2 a | 107,4 \pm 0,74 a | 20,2 \pm 1,39 a | 120,1 \pm 0,65 a | 143,5 \pm 5,00 a | 95,8 \pm 50,4 a |
| Verano | 105,3 \pm 2,13 a | 119,4 \pm 21,2 a | 25,0 \pm 0,98 a | 117,2 \pm 3,46 a | 121,3 \pm 29,6 a | 33,0 \pm 0,80 a |
| Otoño | 76,1 \pm 12,5 a | 112,2 \pm 3,24 a | 31,9 \pm 7,04 a | 95,1 \pm 21,1 a | 156,1 \pm 32,2 a | 27,7 \pm 4,78 a |
| Invierno | 80,8 \pm 5,50 a | 73,4 \pm 19,6 a | 19,3 \pm 2,23 a | 109,5 \pm 9,75 a | 123,8 \pm 30,8 a | 36,4 \pm 0,00 a |
| F _{gl=3} | 3,75 | 1,49 | 4,26 | 1,52 | 0,85 | 1,51 |
| Significación | 0,153 | 0,376 | 0,132 | 0,370 | 0,551 | 0,373 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 93,3 \pm 3,80 | 102,1 \pm 3,88 | 27,0 \pm 4,12 | 119,2 \pm 1,06 | 114,3 \pm 13,6 | 36,6 \pm 3,06 |
| 2 | 79,8 \pm 9,55 | 104,1 \pm 18,3 | 21,2 \pm 1,92 | 101,7 \pm 10,1 | 158,1 \pm 10,6 | 59,8 \pm 28,9 |
| F _{gl=1} | 4,11 | 0,02 | 4,31 | 3,70 | 5,95 | 0,80 |
| Significación | 0,136 | 0,911 | 0,130 | 0,150 | 0,093 | 0,437 |
| R ² | 0,836 | 0,599 | 0,851 | 0,733 | 0,739 | 0,639 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05)

Tabla V.16. Análisis de los aportes de hojarasca (media \pm e. t.) en el conjunto del ecosistema montano seco

| | Tejidos no-lignificados | | | Tejidos lignificados | | |
|--------------------|-------------------------|------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | C (g m ⁻²) | N (g m ⁻²) | Relación C/N | C (g m ⁻²) | N (g m ⁻²) | Relación C/N |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 39,5 \pm 8,50 a | 0,99 \pm 0,44 a | 70,5 \pm 16,7 ab | 23,1 \pm 8,97 a | 0,27 \pm 0,14 a | 119,8 \pm 15,7 a |
| Verano | 76,8 \pm 13,0 a | 1,90 \pm 0,89 a | 83,2 \pm 19,4 a | 7,38 \pm 2,60 a | 0,07 \pm 0,01 a | 90,5 \pm 19,8 a |
| Otoño | 45,9 \pm 11,8 a | 0,66 \pm 0,16 a | 73,4 \pm 15,2 ab | 11,8 \pm 6,48 a | 0,10 \pm 0,03 a | 93,0 \pm 25,5 a |
| Invierno | 43,6 \pm 20,2 a | 0,75 \pm 0,34 a | 57,8 \pm 13,4 b | 42,2 \pm 27,8 a | 0,32 \pm 0,19 a | 89,9 \pm 19,0 a |
| F _{gl=3} | 2,60 | 1,15 | 5,83 | 1,84 | 1,99 | 1,25 |
| Significación | 0,147 | 0,401 | 0,033 | 0,241 | 0,218 | 0,372 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 44,3 \pm 8,32 | 0,91 \pm 0,34 | 74,1 \pm 10,3 | 13,4 \pm 5,10 | 0,16 \pm 0,08 | 90,0 \pm 12,2 |
| 2 | 58,7 \pm 11,9 | 1,24 \pm 0,43 | 68,4 \pm 12,2 | 28,8 \pm 14,2 | 0,22 \pm 0,10 | 106,5 \pm 15,6 |
| F _{gl=1} | 1,85 | 0,60 | 5,140 | 2,02 | 0,51 | 1,64 |
| Significación | 0,222 | 0,469 | 0,064 | 0,205 | 0,502 | 0,247 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Frailes | 49,2 \pm 10,7 a | 0,60 \pm 0,16 a | 86,6 \pm 5,40 a | 14,6 \pm 7,26 a | 0,14 \pm 0,07 a | 110,5 \pm 5,76 a |
| Pinalito | 59,2 \pm 10,5 a | 0,68 \pm 0,23 a | 103,1 \pm 8,65 a | 42,1 \pm 19,6 a | 0,28 \pm 0,13 a | 136,2 \pm 11,5 a |
| Siete Lomas | 46,1 \pm 16,7 a | 1,95 \pm 0,68 a | 24,1 \pm 2,37 b | 6,63 \pm 5,11 b | 0,16 \pm 0,11 a | 48,2 \pm 14,2 b |
| F _{gl=2} | 0,55 | 0,81 | 207,7 | 21,6 | 1,03 | 16,4 |
| Significación | 0,603 | 0,490 | 0,000 | 0,002 | 0,412 | 0,004 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 2,52 | 1,33 | 2,01 | 5,52 | 4,70 | 0,17 |
| Significación | 0,155 | 0,350 | 0,214 | 0,037 | 0,051 | 0,913 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=6} | 2,94 | 1,17 | 2,23 | 2,98 | 1,56 | 0,80 |
| Significación | 0,108 | 0,426 | 0,176 | 0,105 | 0,302 | 0,604 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=2} | 0,46 | 0,15 | 0,77 | 1,27 | 2,27 | 1,95 |
| Significación | 0,653 | 0,862 | 0,503 | 0,348 | 0,184 | 0,222 |
| R ² | 0,860 | 0,739 | 0,987 | 0,936 | 0,859 | 0,888 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05)

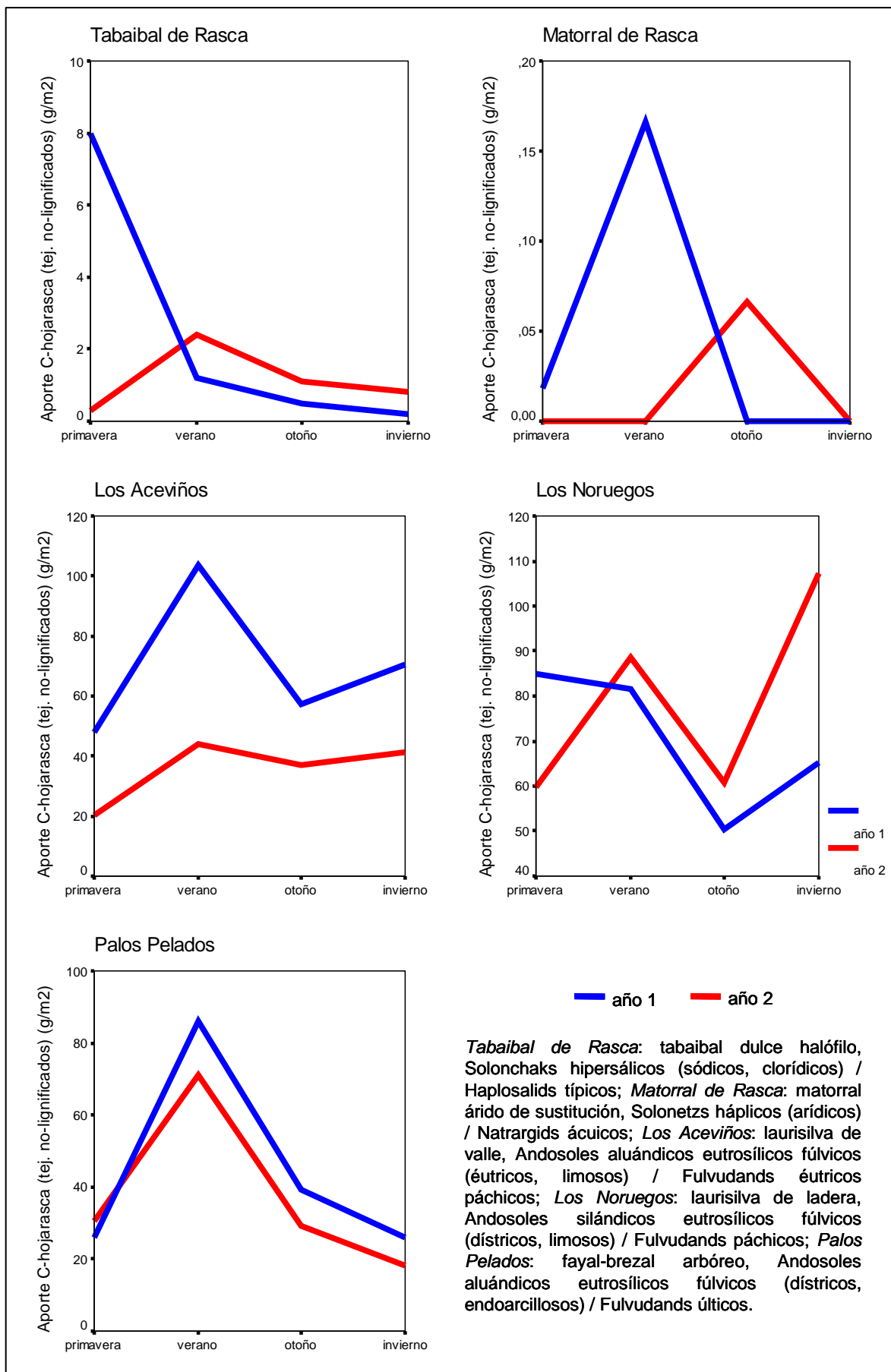


Figura V.2.a. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados, g m⁻²)

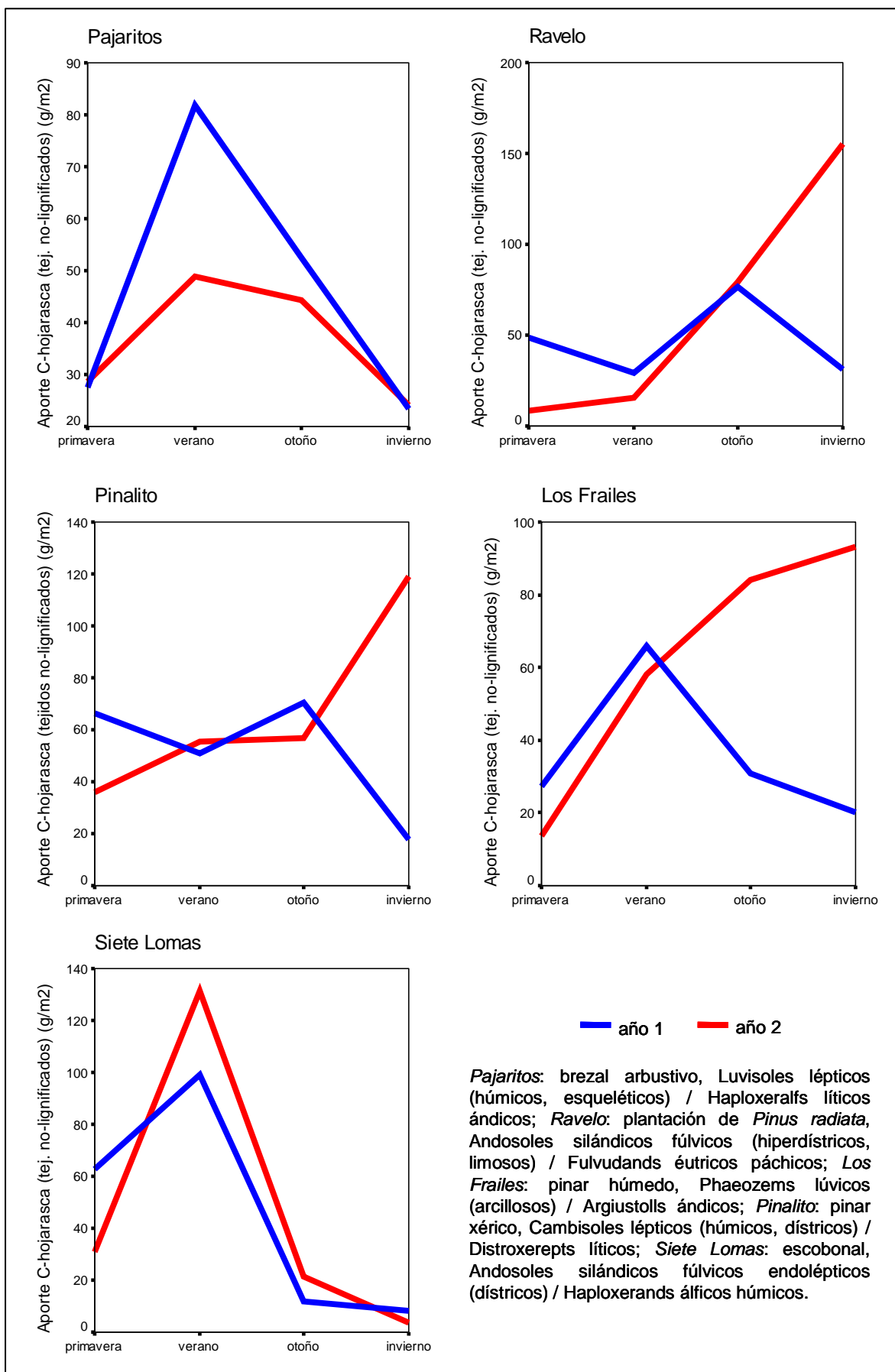


Figura V.2.b. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados, g m^{-2})

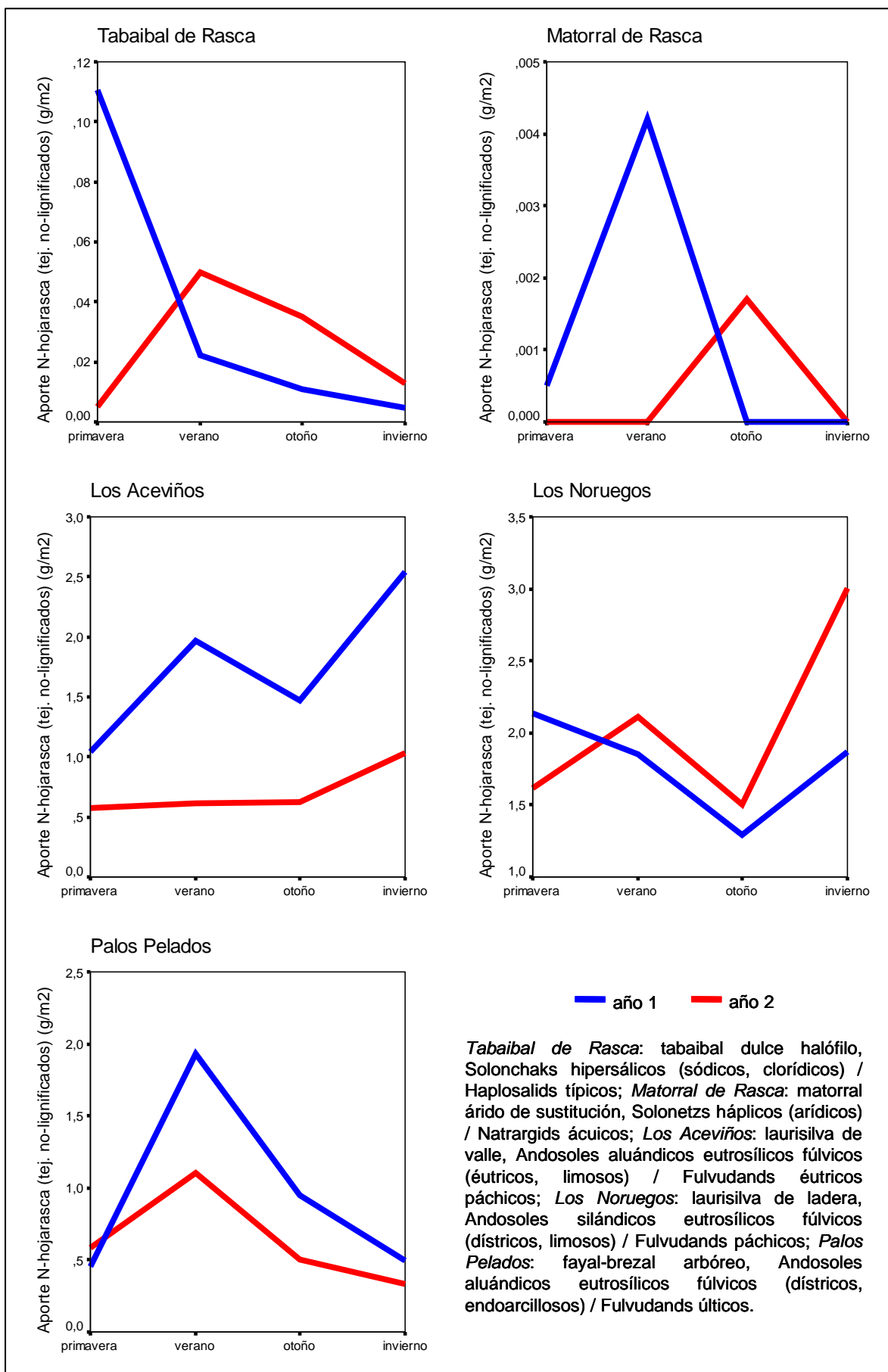


Figura V.3.a. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados, g m⁻²)

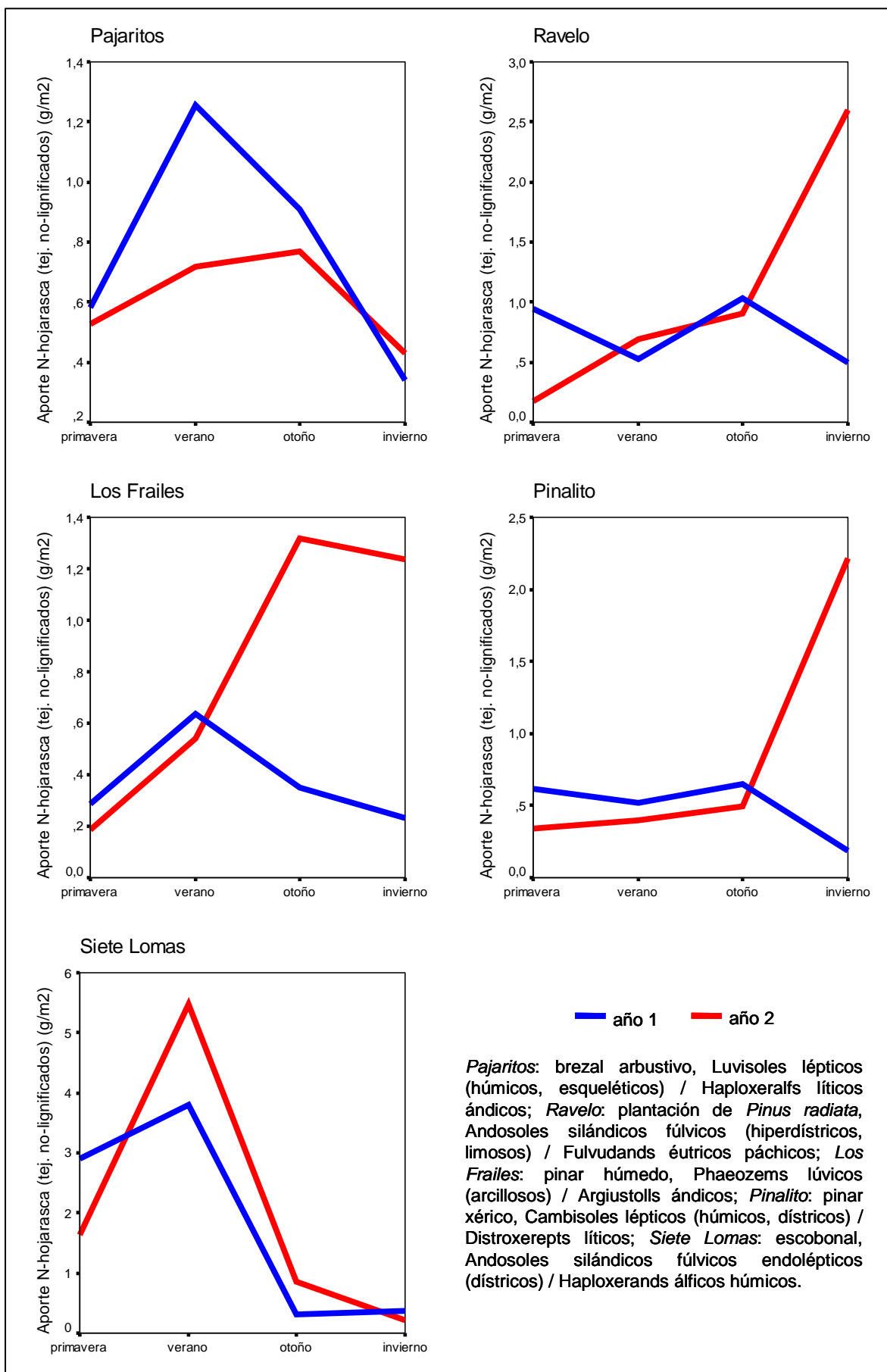


Figura V.3.b. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos no-lignificados, g m⁻²)

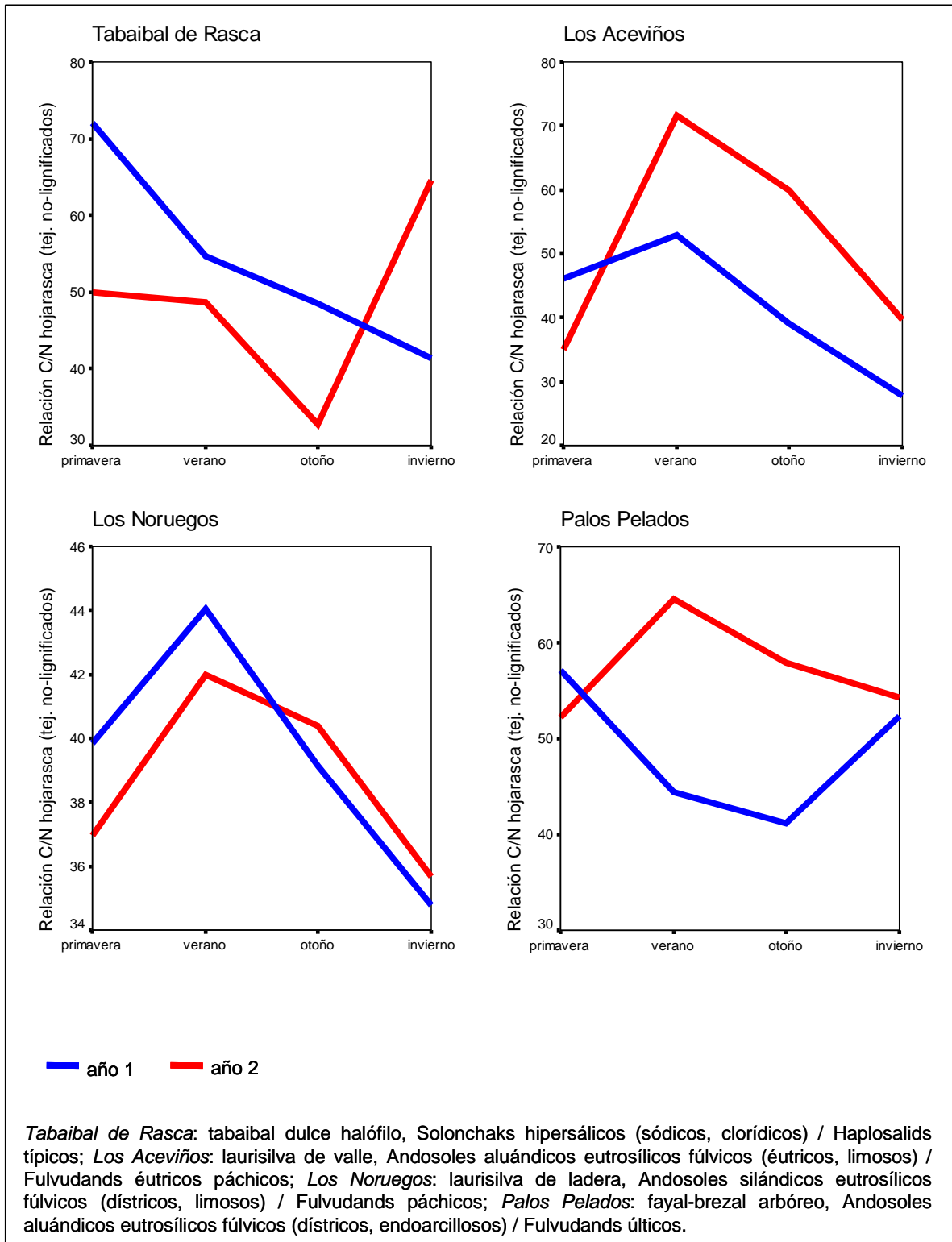


Figura V.4.a. Relación C/N de la hojarasca (tejidos no-lignificados)

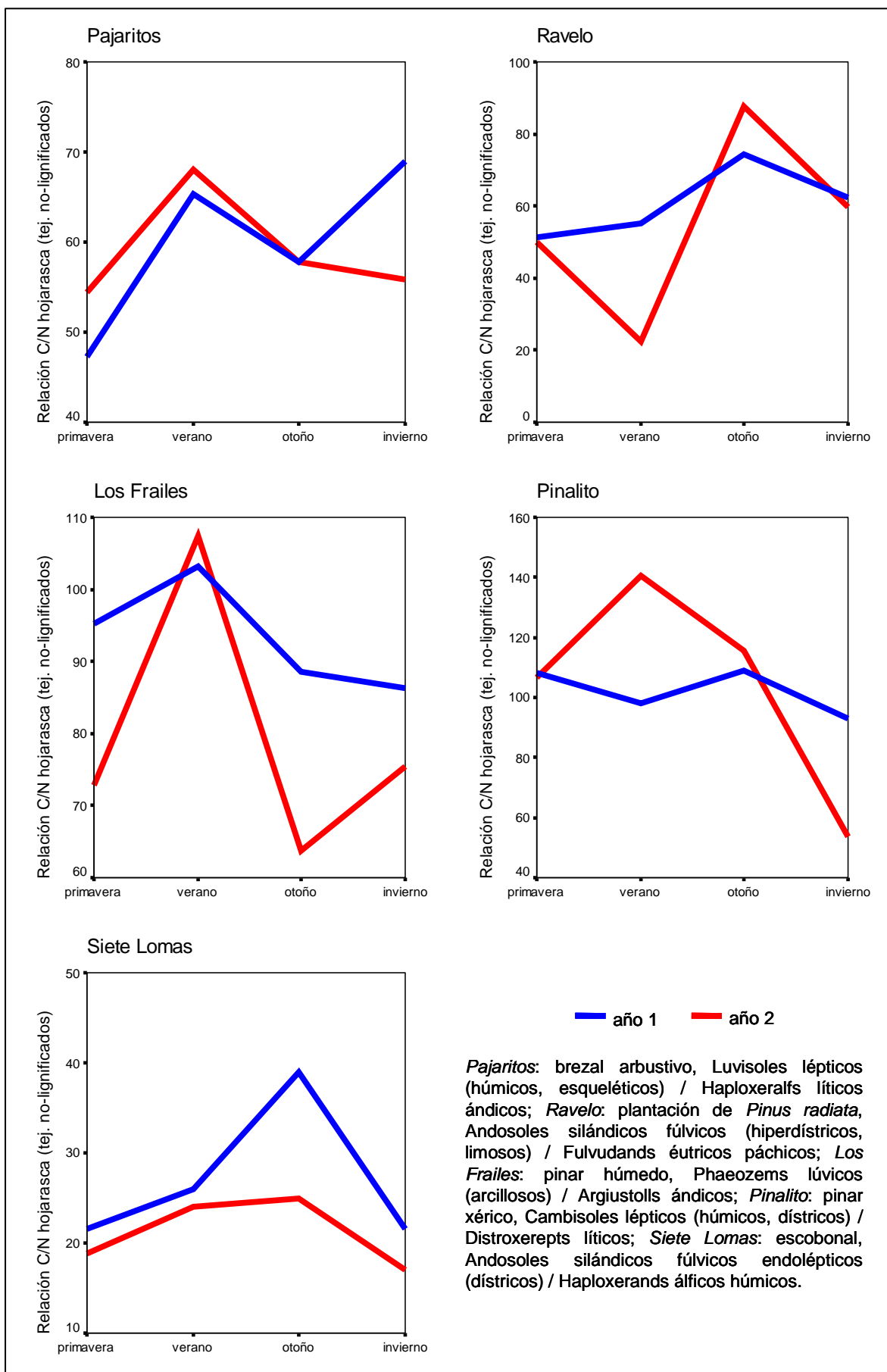


Figura V.4.b. Relación C/N de la hojarasca (tejidos no-lignificados)

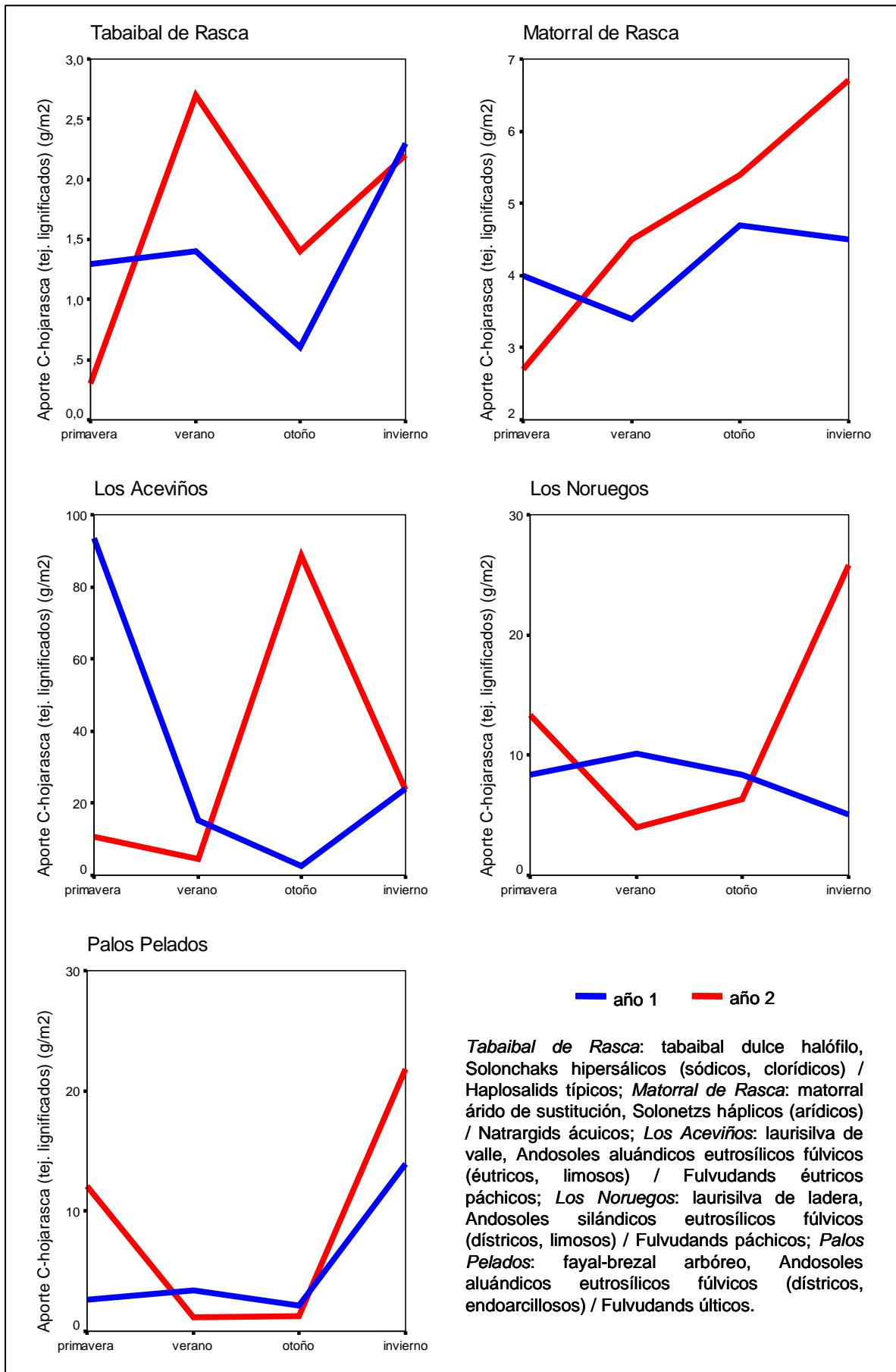


Figura V.5.a. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos lignificados, g m⁻²)

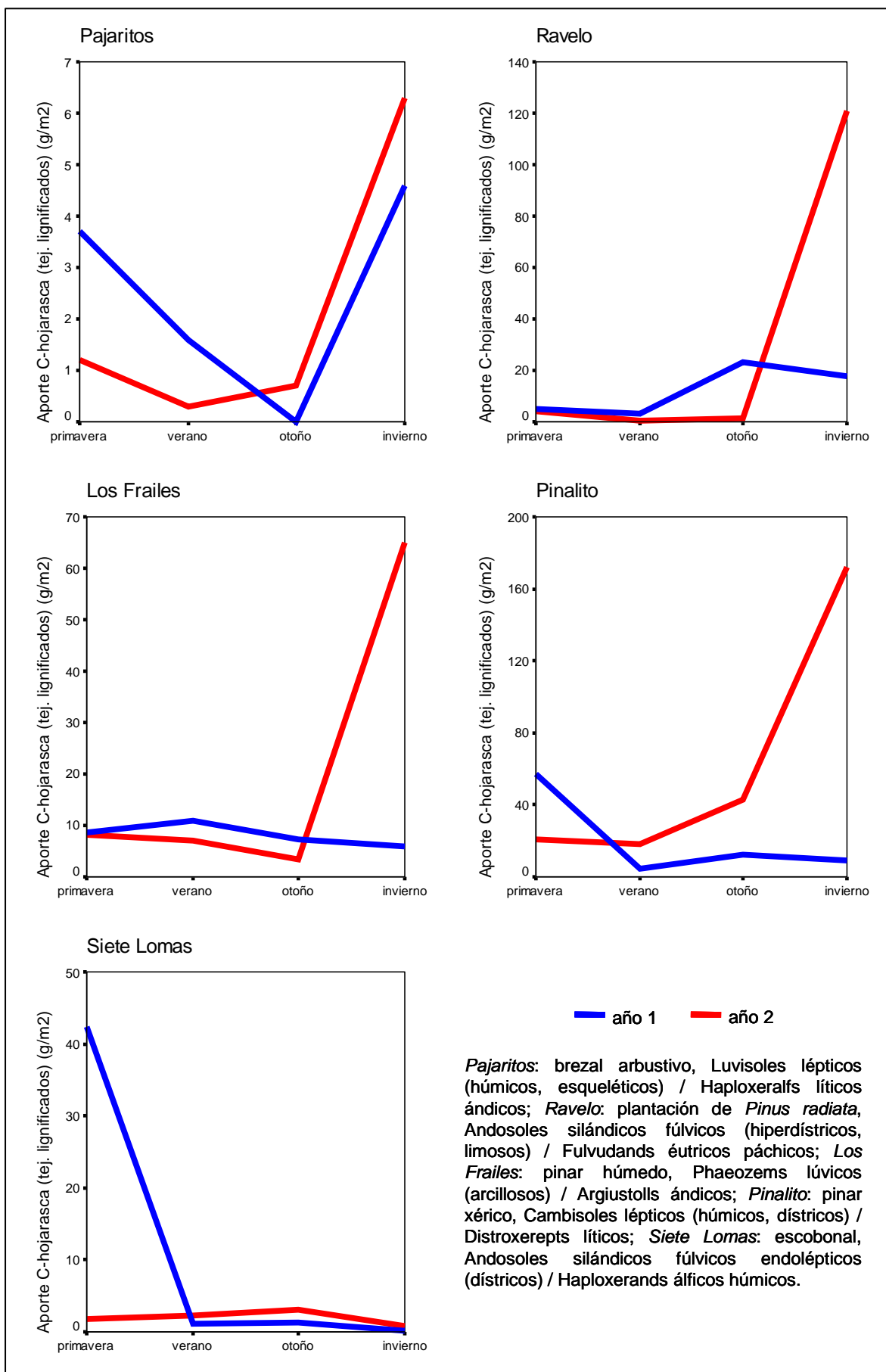


Figura V.5.b. Aporte de carbono en forma de hojarasca (tejidos lignificados, g m⁻²)

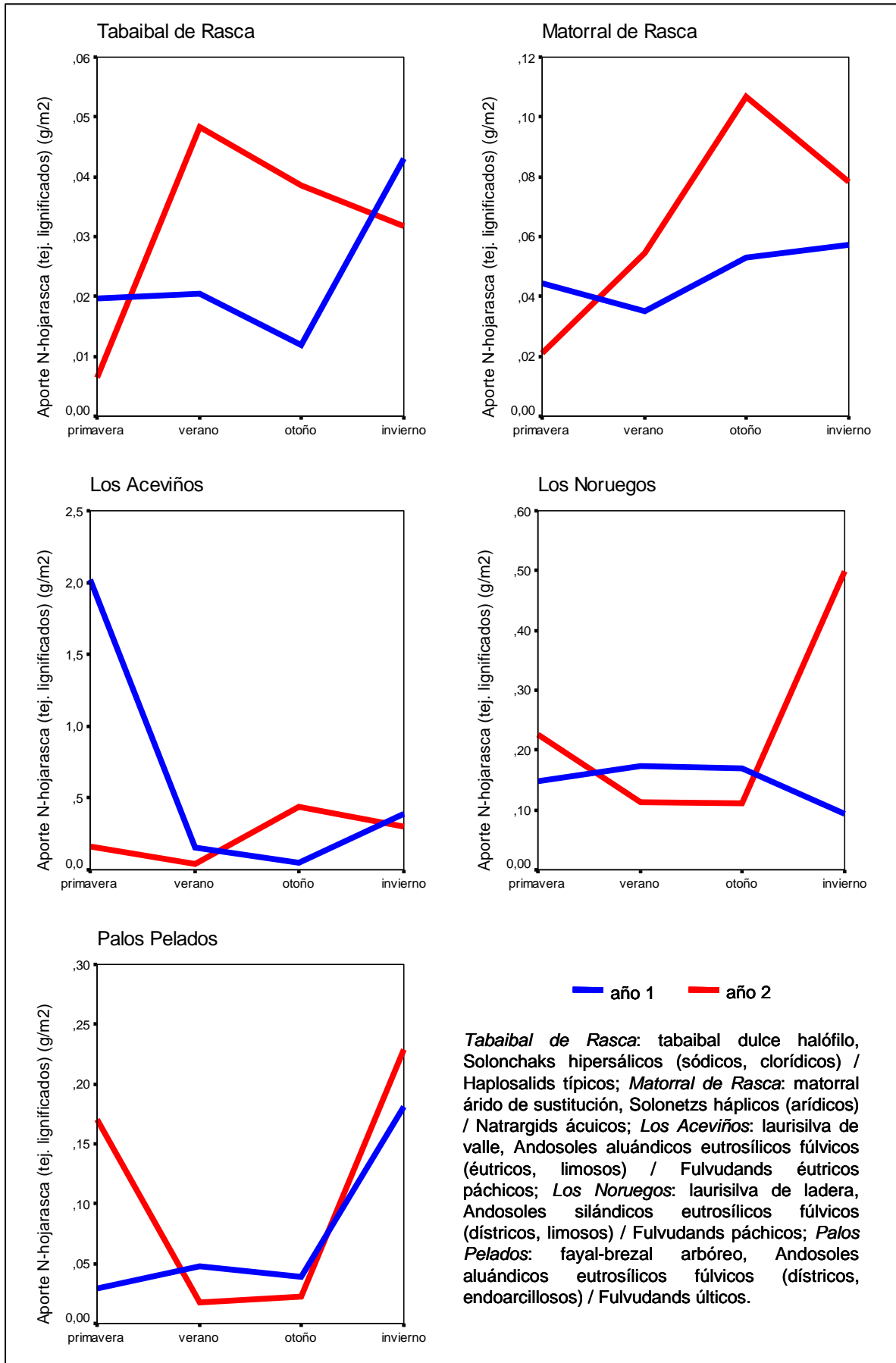


Figura V.6.a. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos lignificados, g m⁻²)

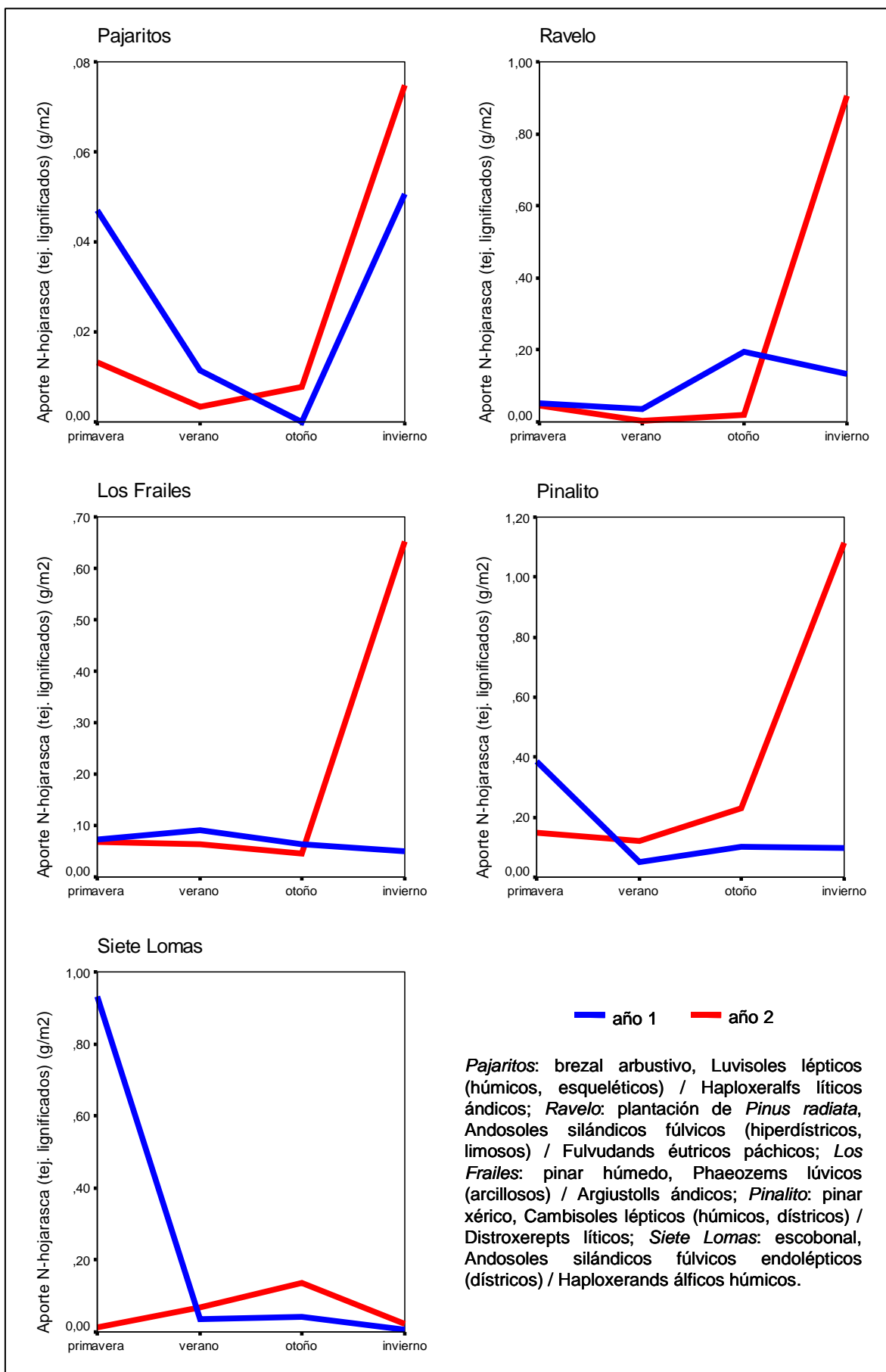


Figura V.6.b. Aporte de nitrógeno en forma de hojarasca (tejidos lignificados, g m⁻²)

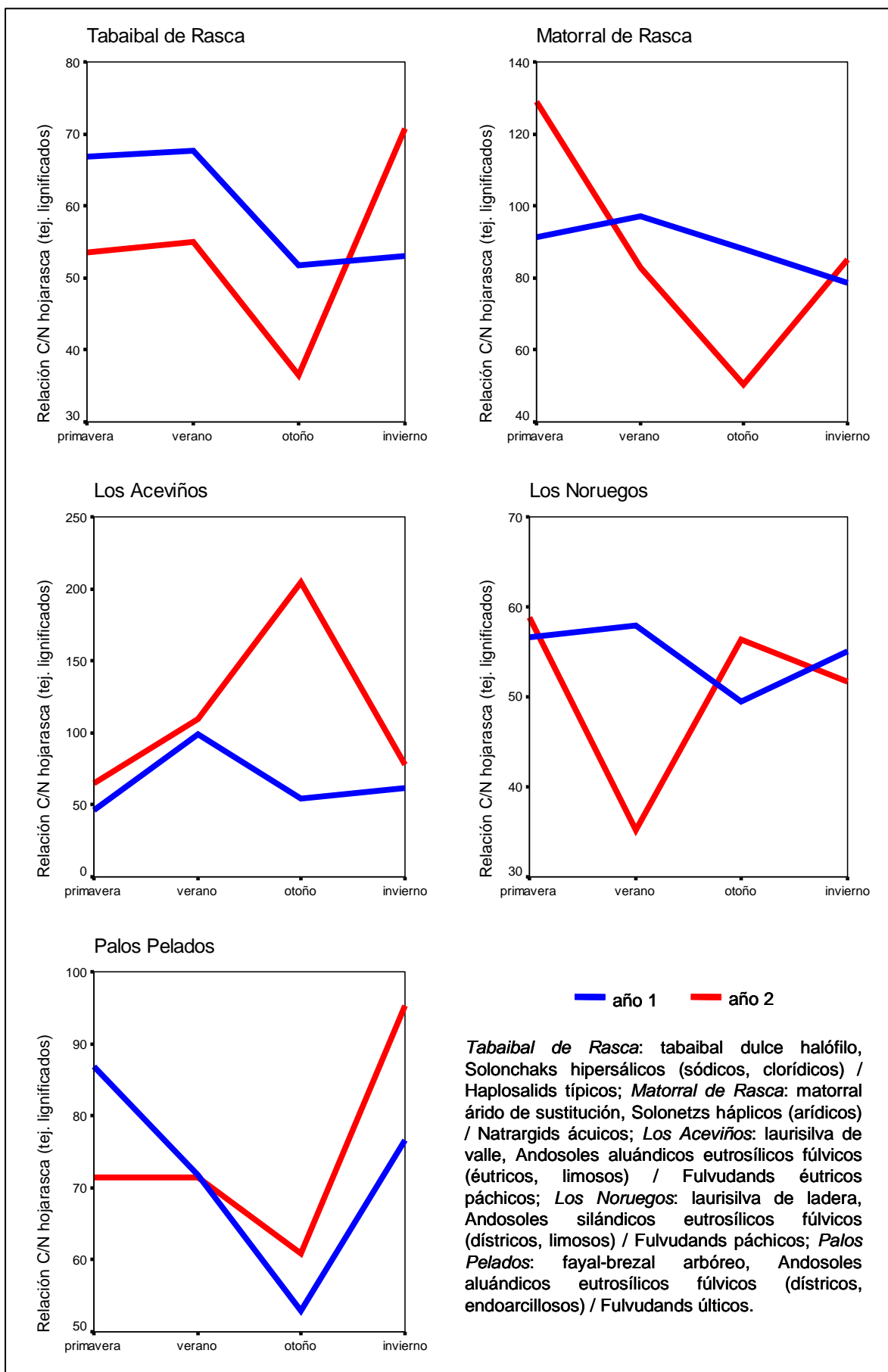


Figura V.7.a. Relación C/N de la hojarasca (tejidos lignificados)

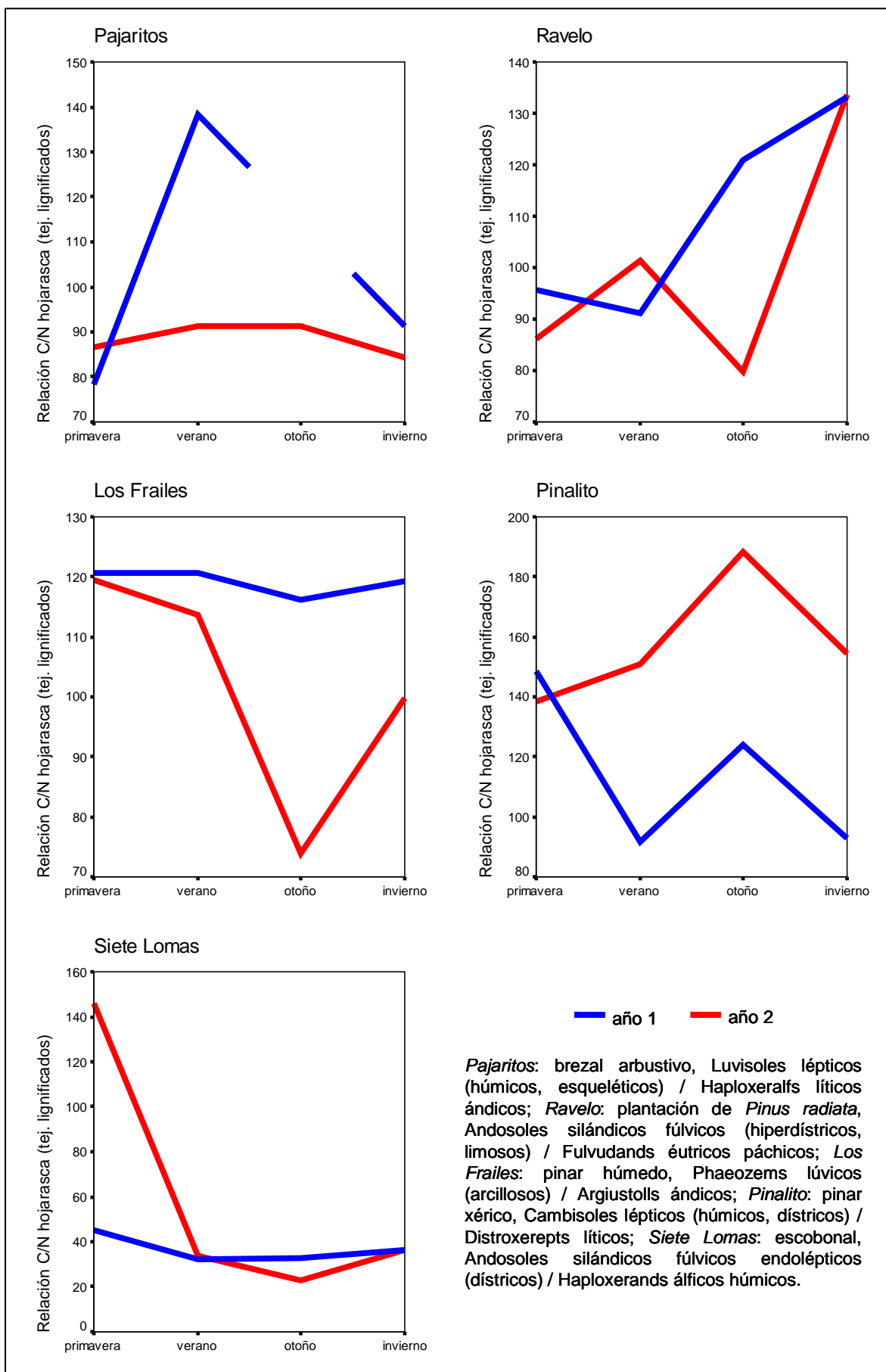


Figura V.7.b. Relación C/N de la hojarasca (tejidos lignificados)

V.1.3. Composición química de la hojarasca

En la Tabla V.17 se detallan los resultados del análisis de la hojarasca durante el primer año de muestreo. De acuerdo a los mismos, los mayores contenidos de nitrógeno se observan en las hojas caídas de las parcelas de laurisilva, y los menores en los tejidos de sostén de las parcelas con vegetación esclerófila. Las muestras de la zona costera muestran los mayores contenidos de azufre y de nutrientes catiónicos como calcio, magnesio y potasio en sus tejidos no-lignificados, y de metales como el hierro y el aluminio en sus tejidos lignificados.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) de estos resultados (Figura V.8) nos permite estudiar con mayor detalle los principales gradientes de variación en la composición de la hojarasca. Los dos primeros componentes del PCA explican un 57,8% de la varianza total observada.

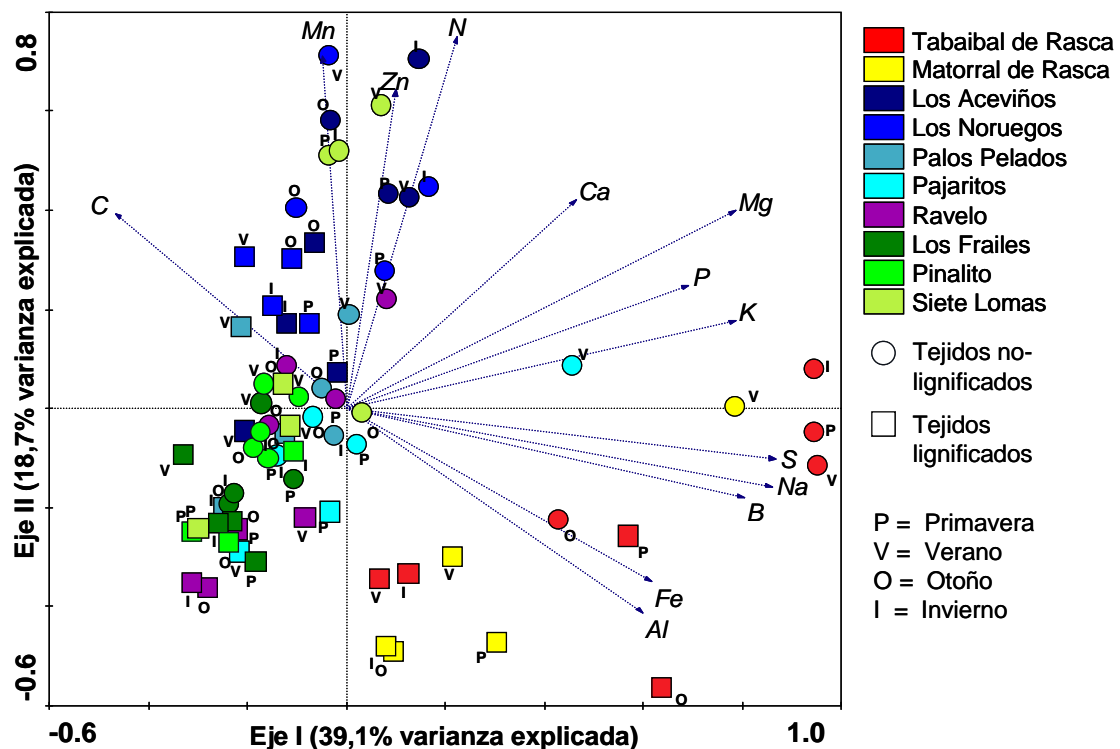


Figura V.8. Análisis de Componentes Principales de la composición química de la hojarasca

El Componente I se correlaciona positivamente con los contenidos de azufre, fósforo, boro y cationes básicos, segregando las muestras de las parcelas de pinar y monteverde, concentradas en torno a su semieje negativo, de las de la zona costera, en su tramo positivo. También se observa un patrón en relación al grado de lignificación de los tejidos, recibiendo mayores puntuaciones las muestras de tejidos foliares que de tejidos de sostén.

Por su parte, el Componente II se correlaciona con los contenidos de nitrógeno y de ciertos micronutrientes (manganeso, cinc), en función de lo cual asigna puntuaciones más altas a las parcelas con vegetación de frondosas que a las de vegetación esclerófila, y a las muestras de tejidos no-lignificados que a las de tejidos lignificados.

Tabla V.17. Composición química de la hojarasca (g kg^{-1}) (media \pm desviación estándar)

| Parcela | | N | Carbono | Nitrógeno | Fósforo | Calcio | Potasio | Magnesio | Azufre | Sodio | Hierro | Manganeso | Zinc | Aluminio | Boro |
|-------------------|-----|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tabaibal de Rasca | TNL | 4 | 405,6 \pm 15,8 | 8,43 \pm 1,04 | 1,02 \pm 0,33 | 13,6 \pm 6,65 | 7,94 \pm 5,20 | 3,98 \pm 1,77 | 4,84 \pm 1,26 | 7,51 \pm 3,85 | 1,61 \pm 1,31 | 0,08 \pm 0,02 | 0,02 \pm 0,01 | 1,65 \pm 0,71 | 0,07 \pm 0,01 |
| | TL | 4 | 396,1 \pm 19,2 | 7,06 \pm 0,65 | 0,53 \pm 0,10 | 6,09 \pm 3,36 | 2,69 \pm 0,77 | 2,69 \pm 1,01 | 1,99 \pm 0,16 | 3,43 \pm 0,48 | 3,64 \pm 2,66 | 0,12 \pm 0,06 | 0,02 \pm 0,01 | 3,18 \pm 1,70 | 0,04 \pm 0,02 |
| Matorral de Rasca | TNL | 1 | 378,2 | 9,52 | 1,60 | 13,0 | 3,20 | 4,60 | - | 7,66 | 1,73 | 0,10 | 0,02 | 2,32 | 0,05 |
| | TL | 4 | 423,3 \pm 11,1 | 4,44 \pm 0,79 | 0,46 \pm 0,07 | 6,02 \pm 1,86 | 2,19 \pm 0,61 | 1,84 \pm 1,48 | 1,88 \pm 0,50 | 2,55 \pm 0,68 | 2,38 \pm 1,91 | 0,06 \pm 0,02 | 0,01 \pm 0,01 | 2,58 \pm 0,75 | 0,04 \pm 0,01 |
| Los Aceviños | TNL | 4 | 446,4 \pm 8,2 | 12,2 \pm 3,15 | 0,88 \pm 0,17 | 9,93 \pm 2,19 | 4,51 \pm 1,97 | 2,43 \pm 0,60 | 1,08 \pm 0,22 | 1,11 \pm 0,63 | 0,33 \pm 0,13 | 0,19 \pm 0,03 | 0,05 \pm 0,01 | 0,26 \pm 0,11 | 0,03 \pm 0,01 |
| | TL | 4 | 426,9 \pm 8,2 | 6,40 \pm 1,45 | 0,45 \pm 0,10 | 7,88 \pm 1,86 | 2,83 \pm 1,45 | 1,64 \pm 0,36 | 0,63 \pm 0,10 | 0,95 \pm 0,58 | 0,21 \pm 0,07 | 0,13 \pm 0,05 | 0,04 \pm 0,01 | 0,23 \pm 0,11 | 0,02 \pm 0,00 |
| Los Noruegos | TNL | 4 | 447,4 \pm 4,6 | 12,3 \pm 0,66 | 0,58 \pm 0,09 | 12,1 \pm 2,43 | 2,19 \pm 1,37 | 2,69 \pm 0,74 | 0,99 \pm 0,12 | 0,88 \pm 0,48 | 0,79 \pm 0,23 | 0,40 \pm 0,10 | 0,02 \pm 0,00 | 1,38 \pm 0,55 | 0,03 \pm 0,01 |
| | TL | 4 | 425,7 \pm 6,0 | 8,17 \pm 0,84 | 0,33 \pm 0,02 | 10,4 \pm 1,45 | 0,78 \pm 0,22 | 1,91 \pm 0,38 | 0,74 \pm 0,13 | 0,42 \pm 0,04 | 0,44 \pm 0,07 | 0,38 \pm 0,07 | 0,02 \pm 0,00 | 0,74 \pm 0,24 | 0,03 \pm 0,01 |
| Palos Pelados | TNL | 3 | 465,6 \pm 14,6 | 10,2 \pm 1,21 | 0,21 \pm 0,11 | 8,80 \pm 1,69 | 1,21 \pm 0,28 | 2,61 \pm 0,50 | 0,87 \pm 0,16 | 1,37 \pm 0,72 | 0,71 \pm 0,31 | 0,17 \pm 0,04 | 0,01 \pm 0,00 | 0,69 \pm 0,44 | 0,05 \pm 0,01 |
| | TL | 3 | 474,6 \pm 69,3 | 7,18 \pm 1,12 | 0,13 \pm 0,05 | 7,61 \pm 2,48 | 0,67 \pm 0,12 | 1,77 \pm 0,55 | 0,71 \pm 0,06 | 0,55 \pm 0,18 | 0,70 \pm 0,19 | 0,20 \pm 0,06 | 0,01 \pm 0,00 | 0,90 \pm 0,20 | 0,03 \pm 0,01 |
| Pajaritos | TNL | 4 | 449,2 \pm 9,6 | 7,35 \pm 0,73 | 0,74 \pm 0,22 | 10,4 \pm 4,31 | 2,46 \pm 2,28 | 2,25 \pm 0,79 | 0,71 \pm 0,11 | 0,93 \pm 0,87 | 1,48 \pm 1,51 | 0,10 \pm 0,03 | 0,02 \pm 0,00 | 0,91 \pm 0,21 | 0,04 \pm 0,02 |
| | TL | 2 | 413,7 \pm 5,4 | 3,90 \pm 1,32 | 0,37 \pm 0,15 | 9,16 \pm 3,48 | 0,67 \pm 0,52 | 1,08 \pm 0,40 | 0,61 \pm 0,03 | 0,28 \pm 0,05 | 0,45 \pm 0,27 | 0,07 \pm 0,00 | 0,01 \pm 0,01 | 0,31 \pm 0,43 | 0,04 \pm 0,01 |
| Ravelo | TNL | 4 | 446,2 \pm 4,8 | 7,53 \pm 1,21 | 0,67 \pm 0,17 | 4,24 \pm 1,15 | 1,94 \pm 1,30 | 1,69 \pm 0,33 | 0,66 \pm 0,10 | 0,93 \pm 0,62 | 0,47 \pm 0,19 | 0,20 \pm 0,05 | 0,03 \pm 0,01 | 1,10 \pm 0,25 | 0,03 \pm 0,00 |
| | TL | 4 | 445,7 \pm 9,1 | 4,29 \pm 0,97 | 0,32 \pm 0,18 | 3,32 \pm 0,62 | 0,69 \pm 0,36 | 0,84 \pm 0,32 | 0,49 \pm 0,09 | 0,53 \pm 0,27 | 0,62 \pm 0,24 | 0,08 \pm 0,02 | 0,01 \pm 0,00 | 0,83 \pm 0,38 | 0,03 \pm 0,01 |
| Los Frailes | TNL | 4 | 467,8 \pm 44,4 | 5,37 \pm 0,39 | 0,41 \pm 0,09 | 6,10 \pm 1,14 | 1,56 \pm 0,92 | 1,08 \pm 0,19 | 0,80 \pm 0,18 | 0,61 \pm 0,50 | 0,33 \pm 0,07 | 0,08 \pm 0,00 | 0,02 \pm 0,00 | 0,41 \pm 0,16 | 0,03 \pm 0,00 |
| | TL | 4 | 458,6 \pm 40,4 | 3,86 \pm 0,30 | 0,23 \pm 0,01 | 8,15 \pm 0,97 | 0,44 \pm 0,13 | 0,70 \pm 0,13 | 0,50 \pm 0,08 | 0,25 \pm 0,04 | 0,52 \pm 0,09 | 0,05 \pm 0,00 | 0,02 \pm 0,00 | 0,69 \pm 0,11 | 0,03 \pm 0,01 |
| Pinalito | TNL | 4 | 466,1 \pm 19,3 | 4,61 \pm 0,43 | 0,46 \pm 0,09 | 7,07 \pm 1,12 | 1,18 \pm 0,33 | 1,33 \pm 0,35 | 0,61 \pm 0,06 | 0,50 \pm 0,23 | 0,36 \pm 0,01 | 0,18 \pm 0,02 | 0,02 \pm 0,00 | 0,53 \pm 0,10 | 0,03 \pm 0,00 |
| | TL | 4 | 444,3 \pm 20,2 | 4,13 \pm 0,98 | 0,25 \pm 0,04 | 12,1 \pm 6,79 | 0,62 \pm 0,33 | 1,10 \pm 0,42 | 0,44 \pm 0,09 | 0,57 \pm 0,70 | 0,67 \pm 0,59 | 0,11 \pm 0,05 | 0,01 \pm 0,00 | 1,03 \pm 0,53 | 0,02 \pm 0,01 |
| Siete Lomas | TNL | 4 | 440,6 \pm 26,0 | 18,1 \pm 5,57 | 0,49 \pm 0,17 | 8,74 \pm 4,57 | 1,10 \pm 0,13 | 3,56 \pm 1,25 | 0,70 \pm 0,17 | 0,40 \pm 0,20 | 0,29 \pm 0,26 | 0,18 \pm 0,09 | 0,03 \pm 0,00 | 0,41 \pm 0,09 | 0,04 \pm 0,01 |
| | TL | 3 | 442,9 \pm 4,2 | 10,1 \pm 6,10 | 0,32 \pm 0,09 | 2,19 \pm 0,32 | 0,72 \pm 0,28 | 1,30 \pm 0,27 | 0,68 \pm 0,06 | 0,93 \pm 0,47 | 0,35 \pm 0,32 | 0,11 \pm 0,05 | 0,02 \pm 0,00 | 0,56 \pm 0,13 | 0,03 \pm 0,01 |

Nota: No se incluyen los análisis de níquel, cromo, cobre, cadmio y plomo, de los que no se detectaron cantidades significativas.

Leyenda: TNL= tejidos no-lignificados, TL= tejidos lignificados. N= n° de muestras. *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

V.1.4. Tasa de descomposición de la hojarasca

Calculamos la tasa de descomposición de la hojarasca utilizando el método de Olson (1963). Este autor asimila el proceso de descomposición a un modelo exponencial negativo, cuya función corresponde a una cinética de primer orden y es:

$$X/X_0 = e^{-kt} \quad \text{ó} \quad \ln(X/X_0) = -kt \quad \text{donde: } X = \text{cantidad de hojarasca transcurrido un tiempo } t \\ X_0 = \text{cantidad de hojarasca inicial}$$

En nuestro caso utilizamos un valor típico del cociente X/X_0 estimado a partir del aporte total anual de hojarasca ($t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) promediado de los dos años de muestreo, y del stock medio de mantillo ($t \text{ ha}^{-1}$), mediante el siguiente cálculo:

$$X/X_0 \approx (S + A) / S \quad \text{donde } A = \text{Aporte de hojarasca} \\ S = \text{Stock de mantillo}$$

Una vez obtenida la tasa de descomposición k (años^{-1}), pudimos calcular otros parámetros como la vida media de la hojarasca sobre la superficie del suelo ($t_{0,5}$; años), es decir, el tiempo necesario para la descomposición de un 50% de la hojarasca, mediante la siguiente fórmula (Bockheim *et al.*, 1991):

$$t_{0,5} = \ln(0,5)/(-k) = 0,693/k$$

así como el tiempo para la descomposición de un 95% de la hojarasca ($t_{0,95}$; años):

$$t_{0,95} = \ln(20)/(-k) = 2,9957/(-k).$$

Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla V.18. En general las tasas de descomposición son mayores a las obtenidas por otros autores que incluyen los restos vegetales ya integrados en los horizontes edáficos superficiales como parte del mantillo (ver Sección II.4.2) deduciendo así tiempos de residencia de varios años o incluso décadas. Nuestra estimación de la vida media de la hojarasca sobre la superficie del suelo oscila entre los 6 meses (*Siete Lomas*) y los 11 (*Palos Pelados, Ravelo*). Los resultados coinciden con los de Martius *et al.* (2004) en cuanto al mayor tiempo de residencia de la hojarasca de los bosques secundarios respecto a los primarios; y con los de Kavvadias *et al.* (2001) en la correlación observada entre el tiempo de residencia y el grado de esclerofilia del bosque.

En las circunstancias ideales de un ecosistema de máxima estabilidad, la descomposición de la hojarasca podría alcanzar condiciones estacionarias. En ese caso, la fórmula de la tasa de descomposición puede simplificarse (Olson, 1963) al siguiente cociente:

$$k' = A/S \quad \text{donde } A = \text{Aporte de hojarasca} \\ S = \text{Stock de mantillo}$$

también conocido como *coeficiente de descomposición de la hojarasca*, y que es posible utilizar como estimación aproximada de la tasa de descomposición (Anderson & Swift, 1983).

Una descomposición de la hojarasca en estado estacionario indica un equilibrio de los flujos biogeoquímicos como el que se atribuye a los ecosistemas maduros. Por esta razón, la tasa de descomposición k y el coeficiente de descomposición k' deberían ser similares en los ecosistemas próximos a la madurez, y tanto más diferentes cuanto mayor sea su estado de degradación. Siguiendo este criterio, calculamos el cociente k/k' por su valor indicador de la estabilidad biogeoquímica del ecosistema.

Los resultados obtenidos del cociente k/k' (Tabla V.18) confirman la validez de esta aproximación. Los valores más bajos se dan en las parcelas de *Pajaritos* (0,40), *Siete Lomas* (0,47) y *Matorral de Rasca* (0,50), las más degradadas de los ecosistemas montano húmedo, montano seco y costero, respectivamente. Las parcelas con vegetación próxima a la madurez presentan valores entre 0,6 y 0,7, aún lejos del valor (1) que correspondería a un ecosistema totalmente estable. Previsiblemente, pocos ecosistemas reales mostrarán valores del cociente k/k' próximos a la unidad, ya que incluso aquellos más próximos a la madurez se ven sometidos a fluctuaciones climáticas (Krebs, 1986) y a un régimen natural de perturbaciones (Souza, 1984).

| | Aporte de hojarasca (A) (t ha ⁻¹ año ⁻¹) | Stock de mantillo (S) (t ha ⁻¹) | Tasa de descomposición (k) (años ⁻¹) | Vida media (años) | Tiempo de descomposición del 95% (años) | k' (A/S) (años ⁻¹) | k'/k |
|-------------------|---|---|--|-------------------|---|--------------------------------|------|
| Tabaibal de Rasca | 0,32 | 0,19 | 1,01 | 0,69 | 2,98 | 1,74 | 0,58 |
| Matorral de Rasca | 0,42 | 0,17 | 1,26 | 0,55 | 2,37 | 2,53 | 0,50 |
| Los Aceviños | 7,61 | 4,93 | 0,93 | 0,74 | 3,21 | 1,54 | 0,60 |
| Los Noruegos | 7,27 | 4,40 | 0,98 | 0,71 | 3,07 | 1,65 | 0,59 |
| Palos Pelados | 4,04 | 3,57 | 0,76 | 0,91 | 3,95 | 1,13 | 0,67 |
| Pajaritos | 3,84 | 1,17 | 1,46 | 0,48 | 2,06 | 3,29 | 0,44 |
| Ravelo | 6,70 | 5,80 | 0,77 | 0,90 | 3,90 | 1,16 | 0,66 |
| Los Frailes | 5,49 | 3,69 | 0,91 | 0,76 | 3,29 | 1,48 | 0,61 |
| Pinalito | 8,75 | 5,94 | 0,91 | 0,77 | 3,31 | 1,47 | 0,61 |
| Siete Lomas | 4,66 | 1,61 | 1,36 | 0,51 | 2,20 | 2,90 | 0,47 |

Leyenda: TNL= *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

V.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RAÍCES DE LOS HORIZONTES SUPERFICIALES DEL SUELO

Los horizontes más superficiales del suelo (hasta 20-40 cm) albergan la mayor parte de las raíces finas y muy finas de las plantas superiores (ver Sección IV.5, Tabla IV.11), que son las de mayor funcionalidad y por lo tanto, de mayor significación (Rodríguez Rodríguez & Arbelo, 1998; Porta, *et al.*, 2003). La cantidad, tamaño, estado en que se encuentran y distribución de estas raíces constituyen buenos indicadores de las condiciones actuales y pasadas del funcionamiento del suelo.

Los contenidos y composición de las raíces de los horizontes superficiales de los suelos estudiados se analizan y representan a continuación (Tablas V.19-V.28; Figuras V.9-V.11); los datos brutos se recogen en las Tablas X.9-X.12 (Anexos). En términos generales los resultados muestran una gran estabilidad temporal (estacional e interanual) y diferencias relevantes en función del ecosistema y de su estado de degradación.

V.2.1. Contenidos de carbono y nitrógeno

i) ZONA COSTERA

Los contenidos de carbono y nitrógeno en forma de fitomasa subterránea son muy superiores en los suelos de la parcela *Tabaibal de Rasca* bajo vegetación madura, que en los de *Matorral de Rasca* con un matorral de sustitución de mayor biomasa aérea (Tablas V.19 y V.20; Figuras V.9.a-V.11.a). Por otra parte, las raíces de los suelos de *Matorral de Rasca* muestran una relación C/N mayor que las de *Tabaibal*. Estas diferencias se deben en buena medida a la gran compactación del suelo de *Matorral de Rasca*, que dificulta mucho el desarrollo radicular y hace necesarios unos tejidos de sostén de un mayor grado de lignificación. Además, el estrés hídrico es probablemente más intenso en *Tabaibal de Rasca* que en *Matorral*, debido a su mayor salinidad y granulometría más gruesa, lo que podría inducir en las raíces una exploración más extensa en busca de agua. No se observa ningún patrón temporal en los contenidos de carbono y nitrógeno ni en su proporción relativa, no encontrándose diferencias significativas estacionales ni interanuales.

| Tabla V.19. Contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N (0-30 cm) (media ± e. t.) en la zona costera | | | | | | |
|---|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|------------------------|----------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | | | Matorral de Rasca | | |
| | C (g m ⁻³) | N (g m ⁻³) | Relación C/N | C (g m ⁻³) | N (g m ⁻³) | Relación C/N |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 326,7 ± 71,4 a | 5,08 ± 0,95a | 64,0 ± 2,05 a | 27,9 ± 0,54 a | 0,31 ± 0,03 a | 91,8 ± 6,80 a |
| Verano | 161,1 ± 96,5 a | 2,70 ± 1,30 a | 55,2 ± 9,10 a | 35,8 ± 20,9 a | 0,32 ± 0,16 a | 106,7 ± 10,6 a |
| Otoño | 544,7 ± 358,2 a | 8,56 ± 6,14 a | 69,3 ± 7,85 a | 26,4 ± 26,4 a | 0,30 ± 0,30 a | 102,5 ± 15,2 a |
| Invierno | 154,8 ± 17,5 a | 2,31 ± 0,07 a | 67,4 ± 9,65 a | 10,1 ± 7,41 a | 0,09 ± 0,07 a | 111,9 ± 0,05 a |
| F _{gl=3} | 0,85 | 0,78 | 1,28 | 0,31 | 0,33 | 1,75 |
| Significación | 0,550 | 0,579 | 0,423 | 0,822 | 0,807 | 0,328 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 217,9 ± 22,4 | 3,20 ± 0,50 | 70,1 ± 4,06 | 28,4 ± 8,66 | 0,31 ± 0,11 | 95,1 ± 6,10 |
| 2 | 375,7 ± 189,7 | 6,13 ± 3,03 | 57,8 ± 4,25 | 21,7 ± 13,2 | 0,20 ± 0,12 | 111,3 ± 4,45 |
| F _{gl=1} | 0,63 | 0,81 | 4,96 | 0,12 | 0,37 | 6,39 |
| Significación | 0,485 | 0,434 | 0,112 | 0,753 | 0,585 | 0,086 |
| R ² | 0,516 | 0,512 | 0,746 | 0,257 | 0,312 | 0,795 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

| Tabla V.20. Análisis del contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N (0-30 cm) (media \pm e. t.) en el conjunto del ecosistema costero | | | |
|---|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| | Carbono (g m^{-3}) | Nitrógeno (g m^{-3}) | Relación C/N |
| Estación | | | |
| Primavera | 177,3 \pm 91,0 a | 2,69 \pm 1,43 a | 77,9 \pm 8,55 a |
| Verano | 98,5 \pm 54,2 a | 1,51 \pm 0,87 a | 81,0 \pm 15,9 a |
| Otoño | 285,6 \pm 209,5 a | 4,43 \pm 3,46 a | 85,9 \pm 11,8 a |
| Invierno | 82,4 \pm 42,5 a | 1,20 \pm 0,64 a | 89,6 \pm 13,4 a |
| F _{gl=3} | 0,42 | 0,46 | 1,33 |
| Significación | 0,754 | 0,729 | 0,411 |
| Año | | | |
| 1 | 123,2 \pm 37,5 | 1,76 \pm 0,60 | 82,6 \pm 5,82 |
| 2 | 198,7 \pm 110,6 | 3,16 \pm 1,79 | 84,6 \pm 10,5 |
| F _{gl=1} | 0,03 | 0,11 | 1,92 |
| Significación | 0,882 | 0,760 | 0,260 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | 296,8 \pm 93,3 | 4,66 \pm 1,52 | 63,9 \pm 3,58 |
| Matorral de Rasca | 25,1 \pm 7,42 | 0,26 \pm 0,08 | 103,2 \pm 4,65 |
| F _{gl=1} | 10,3 | 13,1 | 38,2 |
| Significación | 0,049 | 0,036 | 0,009 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 0,20 | 0,26 | 1,13 |
| Significación | 0,891 | 0,851 | 0,461 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | 0,48 | 0,41 | 1,68 |
| Significación | 0,719 | 0,758 | 0,340 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | 0,35 | 0,60 | 6,77 |
| Significación | 0,598 | 0,494 | 0,080 |
| R ² | 0,823 | 0,851 | 0,952 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | |

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Los stocks de carbono y nitrógeno y la relación C/N en las raíces de los horizontes superficiales de los suelos de la zona montana húmeda se analizan en las Tablas V.21-V.24 y Figuras V.9-V.11. Los resultados no muestran ningún patrón estacional o interanual evidente. Las localidades más degradadas (*Palos Pelados*, *Pajaritos*) muestran los mayores contenidos de carbono en forma de raíces, asociados a una mayor presencia de especies arbustivas y herbáceas, y los valores más altos de la relación C/N, síntoma probable de un mayor grado de estrés en la vegetación (Canadell & López, 1998). La parcela *Ravelo* presenta una cantidad muy pequeña de raíces en el horizonte de enraizamiento, posiblemente a causa de la gran densidad de pinos, que obliga a las raíces a un desarrollo vertical en profundidad que dé anclaje al exagerado crecimiento de los mismos en su competencia por la luz.

Tabla V.21. Contenido de carbono en forma de raíces (kg m⁻³, 0-30 cm) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 0,76 ± 0,14 a | 1,14 ± 0,37 a | 1,59 ± 0,39 a | 1,52 ± 0,39 a | 0,35 ± 0,11 a |
| Verano | 1,08 ± 0,35 a | 1,25 ± 0,06 a | 2,03 ± 0,21 a | 1,91 ± 0,82 a | 0,61 ± 0,01 a |
| Otoño | 0,61 ± 0,01 a | 0,81 ± 0,02 a | 1,18 ± 0,32 a | 1,69 ± 0,69 a | 0,28 ± 0,05 a |
| Invierno | 0,76 ± 0,00 a | 1,46 ± 0,93 a | 1,44 ± 0,42 a | 1,95 ± 0,17 a | 0,29 ± 0,04 a |
| F _{gl=3} | 0,92 | 0,23 | 1,28 | 0,22 | 4,56 |
| Significación | 0,525 | 0,868 | 0,421 | 0,875 | 0,122 |
| Año | | | | | |
| 1 | 0,75 ± 0,06 | 1,03 ± 0,23 | 1,71 ± 0,19 | 1,75 ± 0,41 | 0,38 ± 0,08 |
| 2 | 0,85 ± 0,20 | 1,30 ± 0,38 | 1,42 ± 0,28 | 1,79 ± 0,27 | 0,39 ± 0,09 |
| F _{gl=1} | 0,23 | 0,22 | 0,86 | 0,09 | 0,01 |
| Significación | 0,665 | 0,669 | 0,422 | 0,785 | 0,937 |
| R ² | 0,500 | 0,236 | 0,611 | 0,202 | 0,820 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.22. Contenido de nitrógeno en forma de raíces (g m⁻³, 0-30 cm) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 11,8 ± 3,49 a | 17,8 ± 7,79 a | 13,6 ± 2,45 a | 14,9 ± 3,59 a | 4,11 ± 0,76 a |
| Verano | 17,4 ± 3,83 a | 18,3 ± 10,1 a | 17,3 ± 3,09 a | 17,9 ± 8,92 a | 6,85 ± 1,75 a |
| Otoño | 10,0 ± 0,25 a | 14,4 ± 1,01 a | 12,4 ± 2,72 a | 12,0 ± 3,27 a | 2,31 ± 0,33 a |
| Invierno | 10,8 ± 0,65 a | 20,5 ± 10,7 a | 13,6 ± 5,10 a | 14,5 ± 0,34 a | 3,93 ± 0,42 a |
| F _{gl=3} | 1,23 | 0,07 | 0,28 | 0,17 | 3,35 |
| Significación | 0,433 | 0,971 | 0,838 | 0,910 | 0,174 |
| Año | | | | | |
| 1 | 12,5 ± 1,21 | 19,8 ± 4,35 | 14,7 ± 1,89 | 15,3 ± 4,01 | 4,73 ± 1,33 |
| 2 | 12,5 ± 2,95 | 15,7 ± 5,28 | 13,8 ± 2,59 | 14,4 ± 1,99 | 3,86 ± 0,72 |
| F _{gl=1} | 0,00 | 0,19 | 0,05 | 0,022 | 0,72 |
| Significación | 0,994 | 0,690 | 0,843 | 0,892 | 0,459 |
| R ² | 0,552 | 0,120 | 0,228 | 0,150 | 0,782 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.23. Relación C/N de las raíces (0-30 cm) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo |
|-------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| Estación | | | | | |
| Primavera | 66,9 ± 8,00 a | 68,2 ± 8,95 a | 115,5 ± 8,05 a | 101,5 ± 1,50 a | 84,1 ± 10,8 a |
| Verano | 60,5 ± 6,50 a | 95,9 ± 50,0 a | 119,0 ± 9,35 a | 111,4 ± 9,90 a | 94,8 ± 23,0 a |
| Otoño | 60,6 ± 2,35 a | 56,6 ± 5,65 a | 99,6 ± 19,3 a | 134,8 ± 20,5 a | 120,8 ± 3,45 a |
| Invierno | 70,3 ± 4,30 a | 65,3 ± 11,4 a | 109,9 ± 9,95 a | 134,4 ± 15,1 a | 73,8 ± 2,05 a |
| F _{gl=3} | 1,13 | 0,30 | 0,48 | 1,24 | 2,65 |
| Significación | 0,460 | 0,826 | 0,718 | 0,432 | 0,222 |
| Año | | | | | |
| 1 | 60,5 ± 2,60 | 52,5 ± 2,78 | 117,7 ± 6,22 | 116,3 ± 11,5 | 86,3 ± 12,7 |
| 2 | 68,7 ± 3,94 | 90,4 ± 18,8 | 104,3 ± 8,44 | 124,7 ± 11,0 | 100,4 ± 11,0 |
| F _{gl=1} | 3,24 | 8,38 | 1,21 | 0,31 | 1,30 |
| Significación | 0,170 | 0,063 | 0,352 | 0,615 | 0,337 |
| R ² | 0,689 | 0,756 | 0,469 | 0,574 | 0,755 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.24. Análisis del contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N (0-30 cm) (media \pm e. t.) en el conjunto del ecosistema montano húmedo | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| | Carbono (kg m ⁻³) | Nitrógeno (g m ⁻³) | Relación C/N |
| Estación | | | |
| Primavera | 1,07 \pm 0,19 a | 12,5 \pm 2,10 a | 87,2 \pm 6,85 a |
| Verano | 1,37 \pm 0,22 a | 15,5 \pm 2,60 a | 96,3 \pm 10,8 a |
| Otoño | 0,91 \pm 0,19 a | 10,2 \pm 1,55 a | 94,5 \pm 11,3 a |
| Invierno | 1,18 \pm 0,25 a | 12,7 \pm 2,52 a | 90,7 \pm 9,55 a |
| F _{gl=3} | 1,57 | 1,30 | 0,45 |
| Significación | 0,249 | 0,320 | 0,721 |
| Año | | | |
| 1 | 1,12 \pm 0,15 | 13,4 \pm 1,61 | 86,6 \pm 7,06 |
| 2 | 1,15 \pm 0,15 | 12,1 \pm 1,56 | 97,7 \pm 6,26 |
| F _{gl=1} | 0,03 | 0,54 | 3,39 |
| Significación | 0,878 | 0,477 | 0,091 |
| Parcela | | | |
| Los Aceviños | 0,80 \pm 0,10 ab | 12,5 \pm 1,48 a | 64,6 \pm 2,68 a |
| Los Noruegos | 1,17 \pm 0,21 a | 17,8 \pm 3,26 a | 71,5 \pm 11,3 a |
| Palos Pelados | 1,56 \pm 0,16 a | 14,2 \pm 1,49 a | 111,0 \pm 5,47 b |
| Pajaritos | 1,77 \pm 0,23 a | 14,8 \pm 2,10 a | 120,5 \pm 7,54 b |
| Ravelo | 0,38 \pm 0,06 b | 4,30 \pm 0,72 b | 93,3 \pm 8,20 ab |
| F _{gl=4} | 12,4 | 9,67 | 13,0 |
| Significación | 0,000 | 0,001 | 0,000 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 0,09 | 0,53 | 1,42 |
| Significación | 0,962 | 0,668 | 0,285 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=12} | 0,17 | 0,22 | 1,37 |
| Significación | 0,998 | 0,993 | 0,297 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=4} | 0,19 | 0,10 | 1,86 |
| Significación | 0,941 | 0,982 | 0,183 |
| R ² | 0,827 | 0,799 | 0,876 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | |

iii) ZONA MONTANA SECA

Los resultados obtenidos en la zona montana seca (Tablas V.25-V.28; Figuras V.9b-V.11b) muestran unos contenidos de carbono relativamente estables y uniformes. En contraste, el nitrógeno en forma de raíces presenta un mayor dinamismo temporal, con valores más bajos en invierno y en el segundo año de muestreo, y diferencias marcadas entre parcelas: máximo en *Siete Lomas* (matorral de leguminosas), intermedio en *Frailes* (pinar húmedo) y mínimo en *Pinalito* (pinar xérico). La dinámica del nitrógeno muestra un elevado nivel de interacción con el factor parcela (Tabla V.28), mostrando patrones de variación estacional y anual diferentes según la parcela, y entre las dos escalas de variación temporal consideradas, con tendencias estacionales diferentes en los dos años de muestreo. Los elevados contenidos de nitrógeno en *Siete Lomas* se deben a la presencia en las raíces de las especies dominantes (*Chamecystis proliferus*, *Adenocapus viscosus*) de nódulos simbióticos de *Rhizobium* fijadores de nitrógeno atmosférico (ver Sección IV.4.3).

Tabla V.25. Contenido de carbono en forma de raíces (kg m^{-3} , 0-30 cm) (media \pm e. t.) en la zona montana seca

| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Estación | | | |
| Primavera | 0,52 \pm 0,11 a | 0,48 \pm 0,20 a | 0,67 \pm 0,20 a |
| Verano | 0,79 \pm 0,07 a | 0,32 \pm 0,03 a | 0,51 \pm 0,15 a |
| Otoño | 0,41 \pm 0,01 a | 0,46 \pm 0,14 a | 0,59 \pm 0,18 a |
| Invierno | 0,43 \pm 0,00 a | 0,35 \pm 0,05 a | 0,22 \pm 0,11 b |
| $F_{gl=3}$ | 5,00 | 0,21 | 4,48 |
| Significación | 0,110 | 0,886 | 0,125 |
| Año | | | |
| 1 | 0,55 \pm 0,08 | 0,49 \pm 0,09 | 0,66 \pm 0,12 |
| 2 | 0,53 \pm 0,11 | 0,31 \pm 0,01 | 0,34 \pm 0,08 |
| $F_{gl=1}$ | 0,04 | 2,31 | 8,20 |
| Significación | 0,850 | 0,226 | 0,064 |
| R^2 | 0,834 | 0,494 | 0,878 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Tabla V.26. Contenido de nitrógeno en forma de raíces (g m^{-3} , 0-30 cm) (media \pm e. t.) en la zona montana seca

| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Estación | | | |
| Primavera | 4,73 \pm 1,27 a | 3,76 \pm 1,87 a | 29,7 \pm 10,2 a |
| Verano | 12,0 \pm 5,54 a | 1,94 \pm 0,25 a | 16,6 \pm 3,12 a |
| Otoño | 3,13 \pm 0,11 a | 2,63 \pm 0,79 a | 20,0 \pm 3,73 a |
| Invierno | 2,83 \pm 0,10 a | 1,93 \pm 0,48 a | 7,24 \pm 3,19 a |
| $F_{gl=3}$ | 1,99 | 0,96 | 7,40 |
| Significación | 0,293 | 0,514 | 0,067 |
| Año | | | |
| 1 | 4,67 \pm 0,92 | 3,29 \pm 0,85 | 23,5 \pm 6,15 |
| 2 | 6,70 \pm 3,63 | 1,84 \pm 0,15 | 13,4 \pm 3,34 |
| $F_{gl=1}$ | 0,44 | 2,71 | 8,73 |
| Significación | 0,556 | 0,198 | 0,060 |
| R^2 | 0,681 | 0,650 | 0,912 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Tabla V.27. Relación C/N de las raíces (0-30 cm) (media \pm e. t.) en la zona montana seca

| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas |
|---------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Estación | | | |
| Primavera | 111,9 \pm 6,35 a | 134,7 \pm 14,0 a | 22,9 \pm 1,10 a |
| Verano | 79,3 \pm 30,3 a | 166,5 \pm 7,65 a | 30,0 \pm 3,55 a |
| Otoño | 133,0 \pm 7,95 a | 174,7 \pm 2,05 a | 29,1 \pm 3,35 a |
| Invierno | 152,0 \pm 4,30 a | 186,3 \pm 22,6 a | 29,7 \pm 1,80 a |
| $F_{gl=3}$ | 2,89 | 2,49 | 2,44 |
| Significación | 0,206 | 0,237 | 0,241 |
| Año | | | |
| 1 | 122,0 \pm 9,55 | 158,8 \pm 13,0 | 29,8 \pm 2,70 |
| 2 | 116,1 \pm 23,7 | 172,3 \pm 13,2 | 26,0 \pm 0,81 |
| $F_{gl=1}$ | 0,10 | 0,92 | 3,13 |
| Significación | 0,770 | 0,408 | 0,175 |
| R^2 | 0,745 | 0,737 | 0,777 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.28. Análisis del contenido de carbono y nitrógeno en forma de raíces y relación C/N (0-30 cm) (media \pm e. t.) en el conjunto del ecosistema montano seco | | | |
|--|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| | Carbono (kg m ⁻³) | Nitrógeno (g m ⁻³) | Relación C/N |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,56 \pm 0,09 a | 12,7 \pm 6,01 a | 89,8 \pm 21,9 a |
| Verano | 0,54 \pm 0,10 a | 10,2 \pm 3,20 a | 91,9 \pm 26,5 a |
| Otoño | 0,49 \pm 0,07 a | 8,59 \pm 3,75 a | 112,2 \pm 27,5 ab |
| Invierno | 0,33 \pm 0,05 a | 4,00 \pm 1,33 b | 122,7 \pm 30,6 b |
| F _{gl=3} | 2,28 | 17,8 | 6,80 |
| Significación | 0,179 | 0,002 | 0,023 |
| Año | | | |
| 1 | 0,57 \pm 0,05 | 10,5 \pm 3,36 | 103,5 \pm 17,1 |
| 2 | 0,39 \pm 0,05 | 7,30 \pm 2,06 | 104,8 \pm 19,9 |
| F _{gl=1} | 9,83 | 14,5 | 0,04 |
| Significación | 0,020 | 0,009 | 0,843 |
| Parcela | | | |
| Los Frailes | 0,54 \pm 0,06 a | 5,68 \pm 1,78 b | 119,0 \pm 11,9 b |
| Pinalito | 0,40 \pm 0,05 a | 2,56 \pm 0,49 a | 165,5 \pm 8,94 a |
| Siete Lomas | 0,50 \pm 0,09 a | 18,4 \pm 3,76 c | 27,9 \pm 1,49 c |
| F _{gl=2} | 4,73 | 155,3 | 174,7 |
| Significación | 0,059 | 0,000 | 0,000 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 1,64 | 6,52 | 2,78 |
| Significación | 0,277 | 0,026 | 0,133 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=6} | 1,86 | 8,28 | 3,15 |
| Significación | 0,236 | 0,011 | 0,094 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=2} | 1,56 | 5,53 | 1,00 |
| Significación | 0,284 | 0,043 | 0,422 |
| R ² | 0,883 | 0,987 | 0,985 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | |

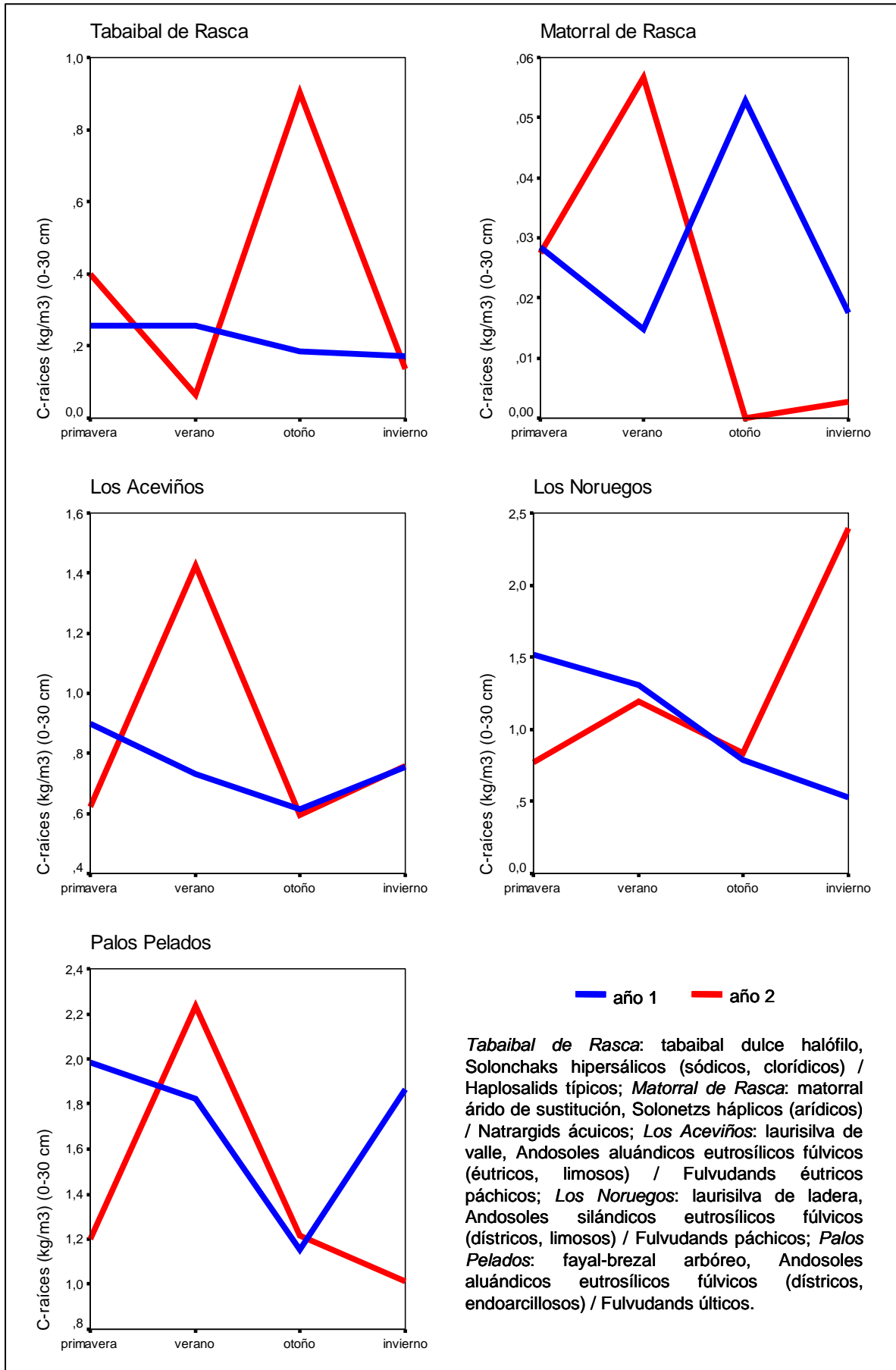


Figura V.9.a. Carbono contenido en las raíces (kg m^{-3}) (0-30 cm)

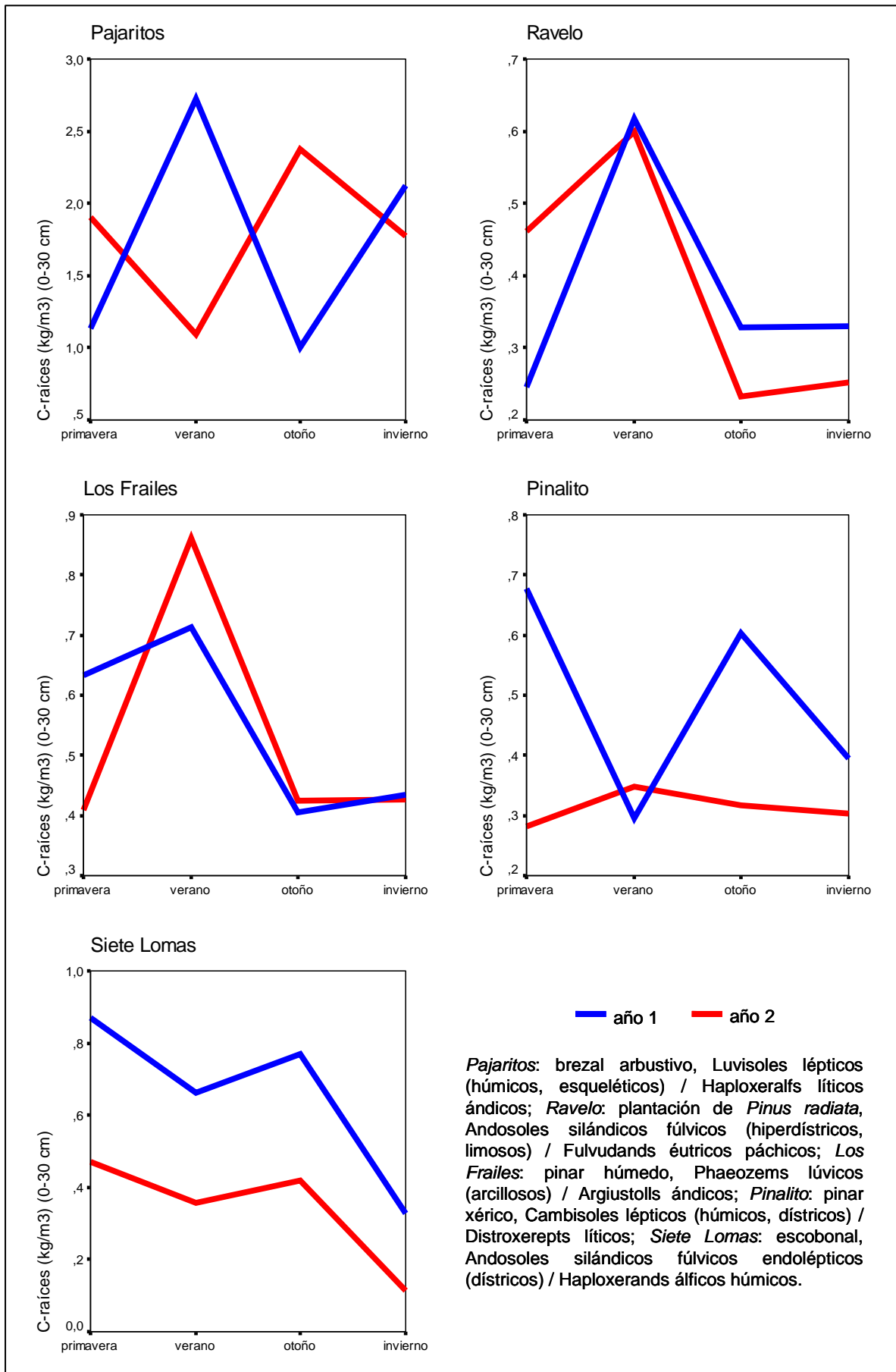


Figura V.9.b. Carbono contenido en las raíces (kg m⁻³) (0-30 cm)

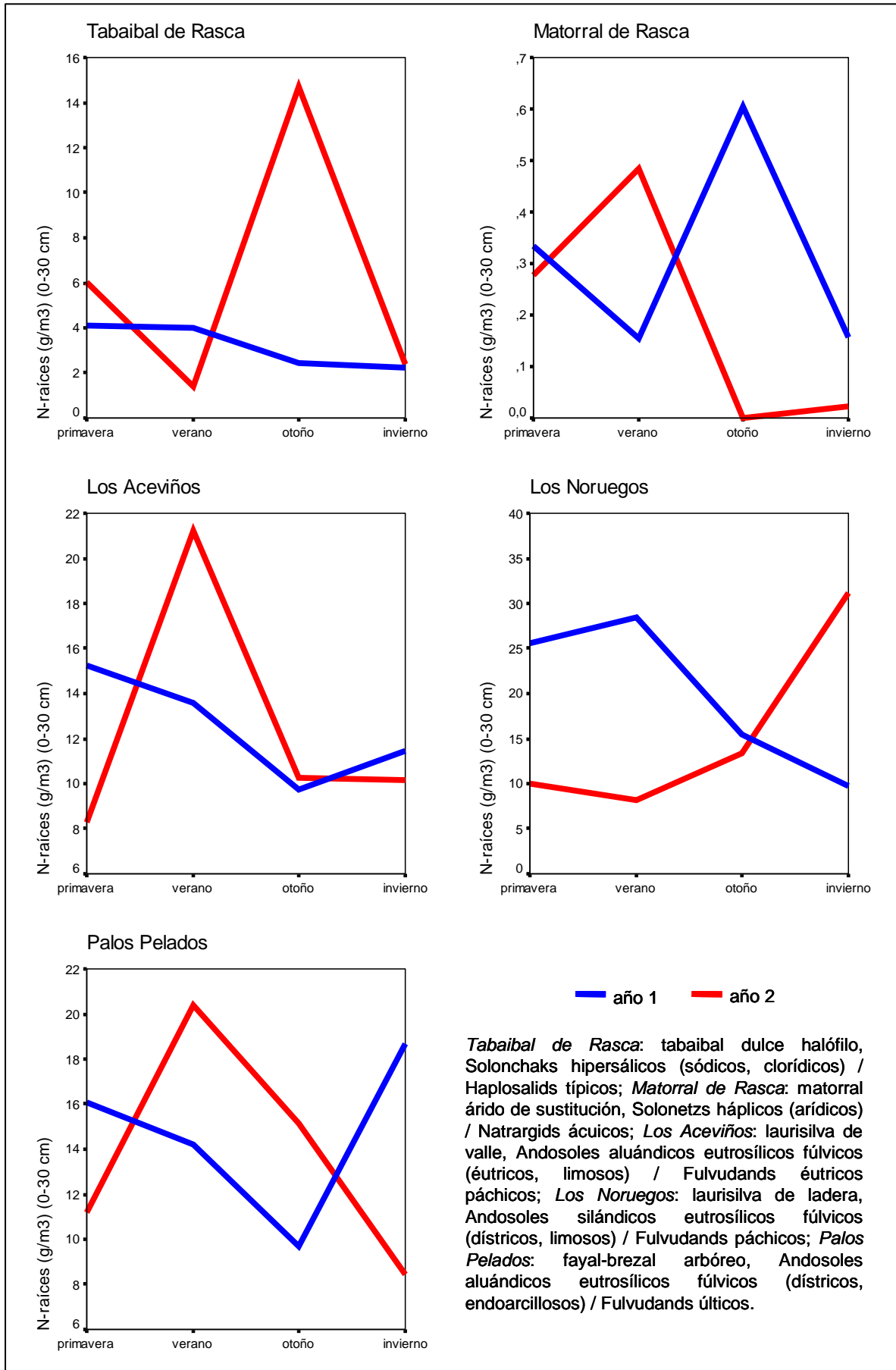


Figura V.10.a. Nitrógeno contenido en las raíces (g m^{-3}) (0-30 cm)

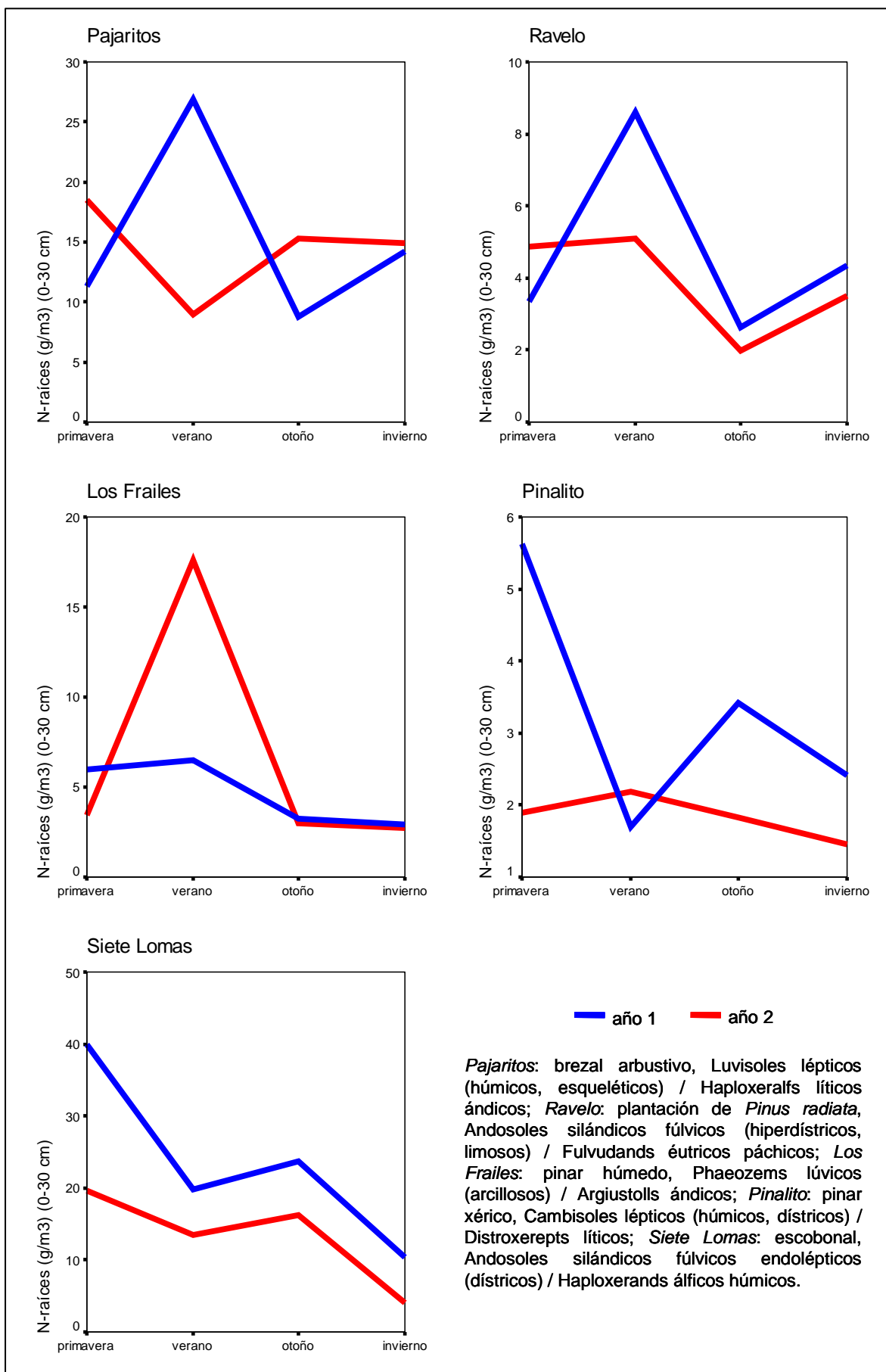


Figura V.10.b. Nitrógeno contenido en las raíces (g m^{-3}) (0-30 cm)

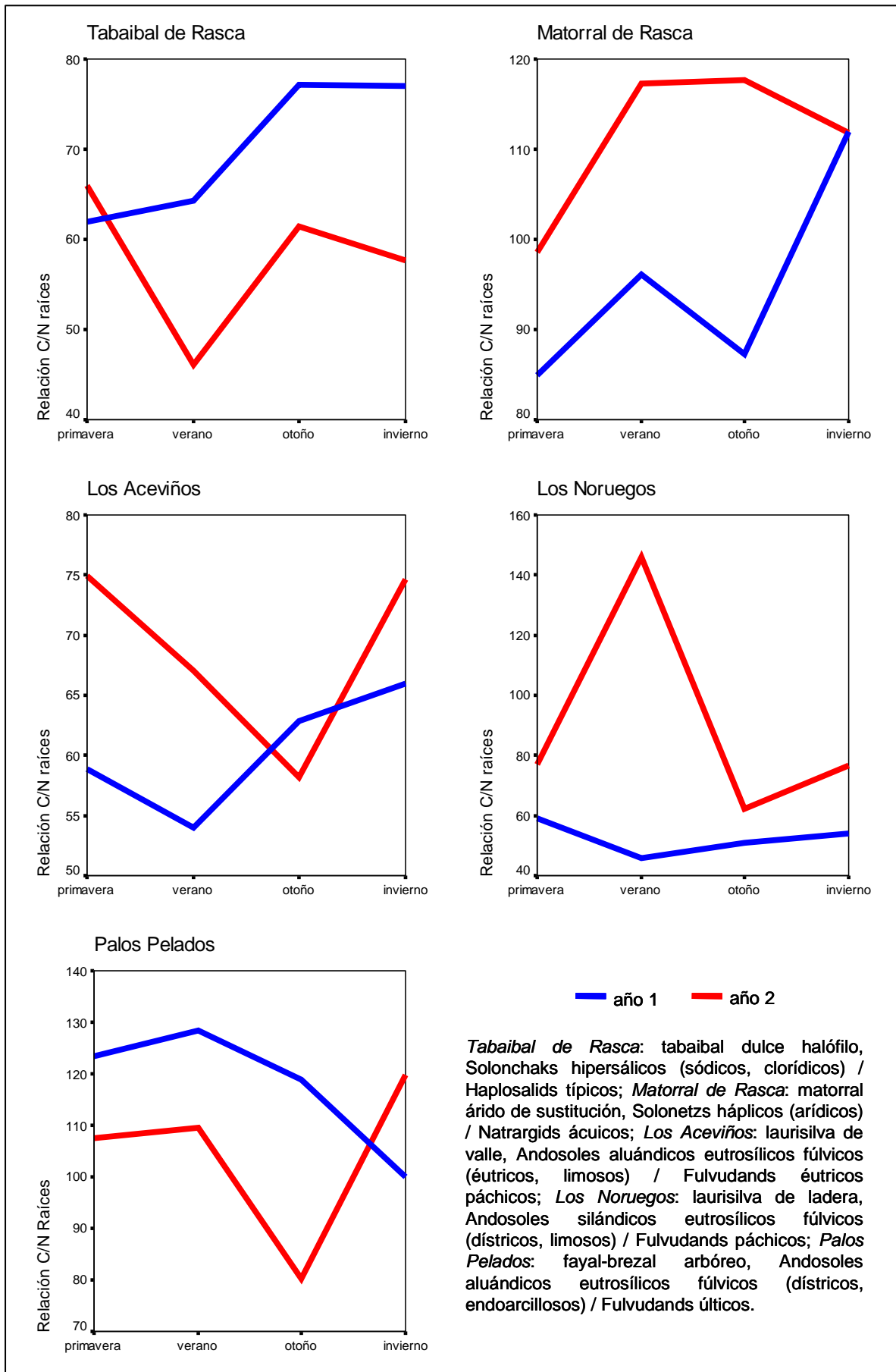


Figura V.11.a. Relación C/N de las raíces (0-30 cm)

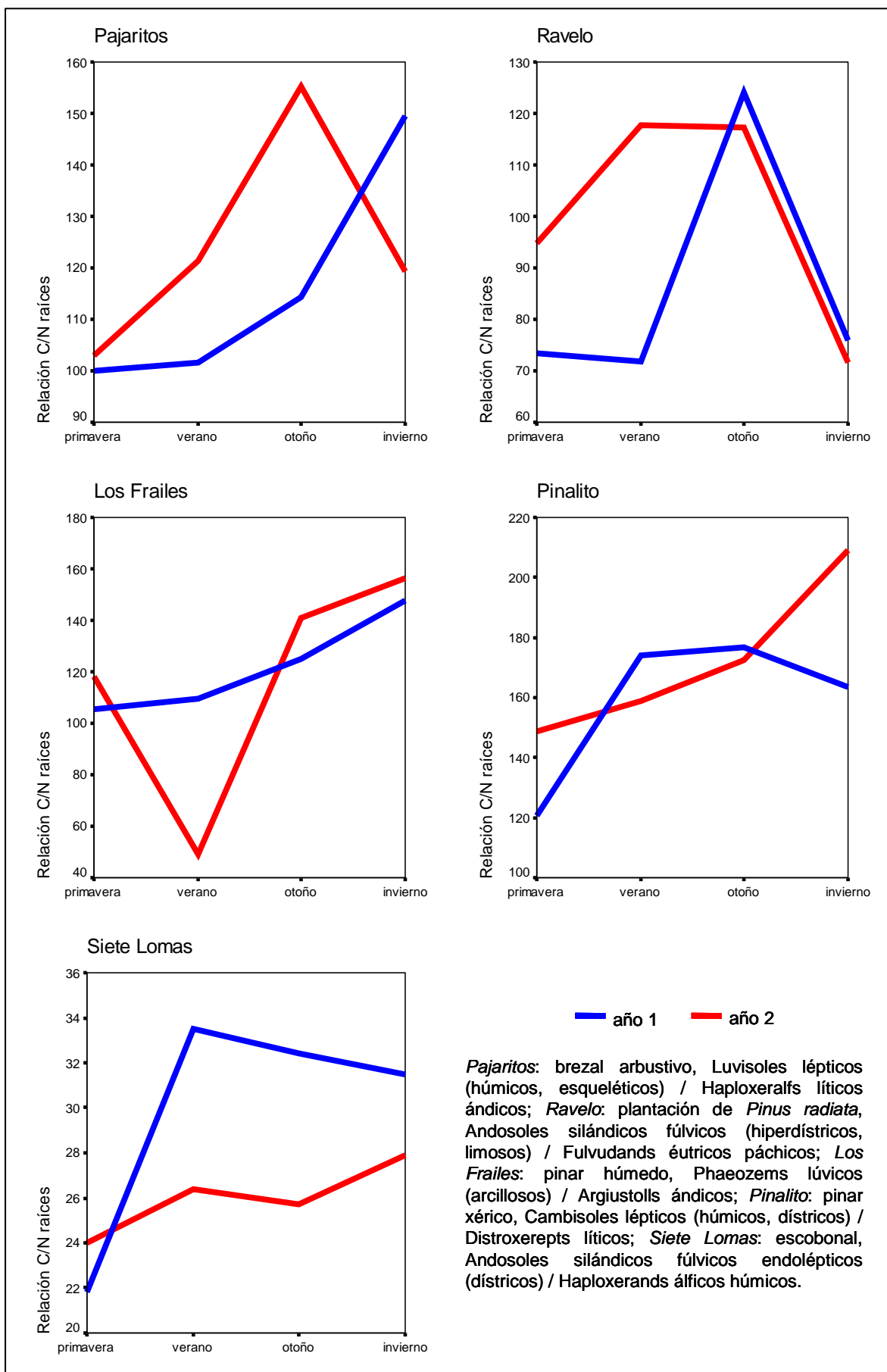


Figura V.11b. Relación C/N de las raíces (0-30 cm)

V.2.2. Composición química de las raíces

La Tabla V.29 expone los resultados del análisis de la composición química de las raíces durante el primer año de muestreo. La Figura V.12 representa un Análisis de Componentes Principales (PCA) de estos datos, donde pueden observarse los principales gradientes de variación.

El primer eje del PCA (35,9% de varianza explicada) segrega las muestras de raíces de las zonas montanas de las de la zona costera, ligadas estas últimas a contenidos elevados de cationes básicos y de azufre. Por su parte, el segundo eje, de un menor poder explicativo (16,6%), se relaciona con la variación estacional, correspondiendo las mayores puntuaciones de cada parcela a los muestreos de primavera en la zona montana seca y de primavera-otoño en la zona montana húmeda, asociados a los mayores contenidos de nitrógeno y de metales como manganeso, cinc o aluminio.

La composición química de las raíces de cada localidad permanece relativamente constante, siendo en general la variación intra-parcelas mucho menor que la variación inter-parcelas. La principal excepción es la muestra de primavera de *Siete Lomas* que se desmarca de las demás, ligada a un contenido excepcionalmente elevado de nitrógeno resultado de la actividad de los nódulos radiculares de las leguminosas.

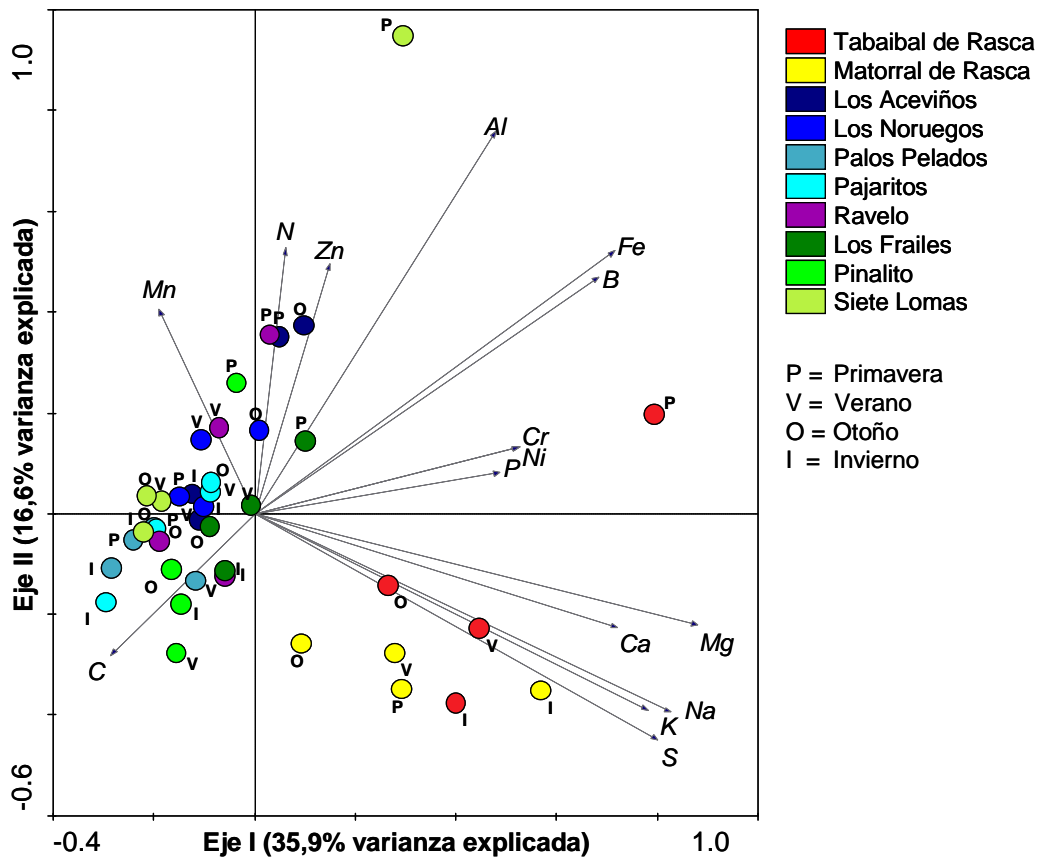


Figura V.12. Análisis de Componentes Principales de la composición química de las raíces

Tabla V.29. Composición química de las raíces (g kg^{-1}) (media \pm desviación estándar)

| Parcela | N | Carbono | Nitrógeno | Fósforo | Calcio | Potasio | Magnesio | Azufre | Sodio | Hierro | Manganeso | Zinc | Aluminio | Boro | Níquel | Cromo |
|-------------------|---|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tabaibal de Rasca | 4 | 443,5 \pm 15,3 | 6,39 \pm 0,69 | 0,95 \pm 0,25 | 10,7 \pm 2,95 | 8,92 \pm 2,34 | 3,48 \pm 0,24 | 2,92 \pm 1,21 | 6,45 \pm 1,40 | 3,06 \pm 1,09 | 0,09 \pm 0,04 | 0,02 \pm 0,00 | 3,61 \pm 1,53 | 0,04 \pm 0,00 | 0,01 \pm 0,02 | 0,03 \pm 0,06 |
| Matorral de Rasca | 4 | 423,1 \pm 20,3 | 4,51 \pm 0,62 | 0,61 \pm 0,12 | 8,37 \pm 3,93 | 5,85 \pm 2,44 | 3,77 \pm 1,13 | 3,03 \pm 0,81 | 8,48 \pm 4,19 | 2,18 \pm 0,55 | 0,06 \pm 0,01 | 0,02 \pm 0,00 | 2,49 \pm 0,70 | 0,04 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Los Aceviños | 4 | 439,1 \pm 33,0 | 7,33 \pm 1,14 | 0,93 \pm 0,17 | 3,73 \pm 1,57 | 2,57 \pm 0,69 | 1,34 \pm 0,42 | 0,67 \pm 0,10 | 1,40 \pm 0,49 | 2,01 \pm 1,12 | 0,11 \pm 0,03 | 0,03 \pm 0,00 | 2,90 \pm 1,42 | 0,03 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Los Noruegos | 4 | 423,3 \pm 40,2 | 8,20 \pm 1,66 | 0,58 \pm 0,14 | 2,90 \pm 1,64 | 2,73 \pm 1,40 | 1,23 \pm 0,33 | 0,89 \pm 0,08 | 1,17 \pm 0,54 | 1,05 \pm 0,25 | 0,10 \pm 0,04 | 0,02 \pm 0,01 | 2,64 \pm 1,15 | 0,03 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Palos Pelados | 4 | 457,6 \pm 26,4 | 3,91 \pm 0,34 | 0,16 \pm 0,02 | 4,25 \pm 2,72 | 0,81 \pm 0,07 | 1,47 \pm 0,59 | 0,99 \pm 0,26 | 0,65 \pm 0,07 | 0,74 \pm 0,56 | 0,19 \pm 0,03 | 0,01 \pm 0,00 | 2,34 \pm 0,80 | 0,02 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Pajaritos | 4 | 444,0 \pm 19,6 | 3,91 \pm 0,70 | 0,40 \pm 0,15 | 4,28 \pm 1,51 | 1,44 \pm 0,30 | 1,05 \pm 0,44 | 0,48 \pm 0,05 | 0,48 \pm 0,14 | 1,43 \pm 0,66 | 0,14 \pm 0,02 | 0,01 \pm 0,00 | 2,53 \pm 0,96 | 0,03 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Ravelo | 4 | 437,4 \pm 18,9 | 5,36 \pm 1,32 | 0,89 \pm 0,17 | 2,40 \pm 1,42 | 2,70 \pm 1,33 | 1,63 \pm 0,48 | 0,63 \pm 0,13 | 0,98 \pm 0,19 | 1,17 \pm 0,59 | 0,14 \pm 0,05 | 0,01 \pm 0,01 | 4,14 \pm 2,39 | 0,03 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Los Frailes | 4 | 431,8 \pm 22,5 | 3,60 \pm 0,55 | 0,36 \pm 0,06 | 7,09 \pm 3,78 | 2,09 \pm 0,65 | 2,07 \pm 0,49 | 0,79 \pm 0,02 | 0,71 \pm 0,12 | 2,06 \pm 0,71 | 0,07 \pm 0,03 | 0,02 \pm 0,00 | 3,37 \pm 1,11 | 0,03 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Pinalito | 4 | 447,0 \pm 26,0 | 2,88 \pm 0,52 | 0,43 \pm 0,08 | 6,96 \pm 1,65 | 1,85 \pm 0,43 | 1,48 \pm 0,41 | 0,51 \pm 0,04 | 0,54 \pm 0,12 | 1,28 \pm 0,95 | 0,11 \pm 0,10 | 0,02 \pm 0,00 | 1,87 \pm 1,35 | 0,03 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |
| Siete Lomas | 4 | 440,3 \pm 28,6 | 15,1 \pm 2,20 | 0,26 \pm 0,15 | 2,47 \pm 1,39 | 1,21 \pm 0,51 | 1,64 \pm 0,88 | 0,54 \pm 0,12 | 0,97 \pm 0,14 | 2,37 \pm 3,17 | 0,08 \pm 0,04 | 0,02 \pm 0,00 | 3,69 \pm 4,49 | 0,04 \pm 0,01 | 0,00 \pm 0,00 | 0,00 \pm 0,00 |

No se incluyen los análisis de níquel, cromo, cobre, cadmio y plomo, de los que no se detectaron cantidades significativas.

Legenda: N= n° de muestras. *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

V. 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO

En los siguientes apartados describimos algunas propiedades generales del suelo, como el contenido de humedad y el pH y la salinidad en extracto saturado, susceptibles de influenciar el comportamiento de otros parámetros medidos durante el seguimiento: contenido de biomasa microbiana, respiración del suelo, concentración de bicarbonatos, etc., que se estudian más adelante. Los datos brutos de humedad, pH y salinidad se recogen en las Tablas X.13-X.15 (Anexos).

V.3.1. Humedad

i) ZONA COSTERA

El contenido de humedad en estos suelos es casi siempre muy bajo y menor en los primeros 15 cm del suelo (Tabla V.30; Figura V.13.a), asociado a tasas de evapotranspiración típicamente muy superiores a las precipitaciones durante casi todo el año (ver Secciones III.2 y III.3, Figuras III.1 y III.2, respectivamente). Los suelos de *Matorral de Rasca* resultan algo más húmedos que los de *Tabaibal*, debido a su granulometría un poco más fina y sobre todo a su estructura compactada en superficie (ver Sección IV.2.2), que favorece una mayor retención de agua en el interior del suelo. La humedad desciende significativamente en los meses de verano, con una variación estacional más marcada en el caso de *Matorral de Rasca* (valores mínimos en verano, intermedios en primavera y otoño y máximos en invierno). En el segundo año de muestreo se detectó un aumento de la humedad en la parcela *Tabaibal de Rasca*, mucho menos aparente en *Matorral de Rasca* donde el encostramiento superficial reduce la infiltrabilidad del suelo.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

La humedad de los suelos de este ecosistema es en general elevada (Tabla V.31, Figura V.13), tanto por las abundantes precipitaciones, como por una eficaz retención de agua en estos suelos propiciada por su carácter ándico, que les permite conservarse húmedos durante gran parte del año (ver Secciones III.4 a III.8). Los suelos de *Los Aceviños* y *Ravelo* muestran los contenidos de humedad más altos, *Los Noruegos* y *Palos Pelados* intermedios, y *Pajaritos*, el más bajo. El contenido de humedad disminuye ligeramente con la profundidad, especialmente en las parcelas *Los Aceviños* y *Palos Pelados*. Los valores mínimos de humedad se dan en verano, y no se encontraron variaciones interanuales en ninguno de los casos.

iii) ZONA MONTANA SECA

El mayor contenido de humedad (Tabla V.32; Figura V.13.b) se da en los Phaeozems bajo pinar húmedo de la parcela *Los Frailes*, asociado a una textura con tendencia arcillosa y una vegetación de pinar denso que mitiga la evapotranspiración. La humedad se reduce en *Siete Lomas* (Andosoles bajo escobonal) ligada a una vegetación arbustiva de menor protección y a un suelo de textura franco-arenosa. Los suelos de *Pinalito* (Cambisoles bajo pinar xérico) presentan los valores de humedad más bajos entre los suelos estudiados, relacionados con una

vegetación de pinar abierto y unas condiciones climáticas de mayor xericidad (ver Secciones III.9 a III.11).

Sólo en *Los Frailes* la humedad del suelo no varía con la profundidad, mientras que en *Siete Lomas* y *Pinalito* los suelos están en general más secos en superficie. Se observa un patrón estacional de acuerdo al cual los suelos se secan considerablemente en verano (especialmente en los primeros 15 cm), comienzan a humectarse nuevamente en otoño y alcanzan su contenido máximo en primavera e invierno. Se encontraron diferencias interanuales, con un contenido de humedad ligeramente mayor en el segundo año de seguimiento.

| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 5,24 \pm 1,02 | 5,81 \pm 1,06 | 5,52 \pm 0,71 |
| 15-30 cm | 6,17 \pm 0,75 | 7,84 \pm 0,71 | 7,00 \pm 0,54 |
| F _{gl=1} | 7,82 | 37,5 | 44,4 |
| Significación | 0,068 | 0,009 | 0,000 |
| Estación | | | |
| Primavera | 5,63 \pm 0,79 a | 7,01 \pm 0,65 ab | 6,32 \pm 0,54 a |
| Verano | 4,01 \pm 0,55 a | 4,91 \pm 0,95 b | 4,46 \pm 0,54 b |
| Otoño | 5,20 \pm 0,37 a | 6,33 \pm 0,78 ab | 5,77 \pm 0,45 a |
| Invierno | 7,96 \pm 2,00 a | 9,05 \pm 2,01 a | 8,51 \pm 1,33 a |
| F _{gl=3} | 6,62 | 16,9 | 21,7 |
| Significación | 0,077 | 0,022 | 0,000 |
| Año | | | |
| 1 | 4,59 \pm 0,37 | 6,23 \pm 0,54 | 5,41 \pm 0,38 |
| 2 | 6,82 \pm 1,09 | 7,42 \pm 1,24 | 7,12 \pm 0,80 |
| F _{gl=1} | 11,3 | 2,93 | 10,8 |
| Significación | 0,043 | 0,186 | 0,006 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 5,70 \pm 0,62 |
| Matorral de Rasca | - | - | 6,83 \pm 0,67 |
| F _{gl=1} | - | - | 13,3 |
| Significación | - | - | 0,003 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 1,01 | 2,26 | 5,17 |
| Significación | 0,496 | 0,260 | 0,014 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,36 | 0,78 | 0,77 |
| Significación | 0,591 | 0,442 | 0,395 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,46 |
| Significación | - | - | 0,510 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 5,29 | 18,0 | 14,8 |
| Significación | 0,102 | 0,020 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 0,26 |
| Significación | - | - | 0,855 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 7,60 |
| Significación | - | - | 0,016 |
| R ² | 0,951 | 0,585 | 0,940 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05)

| Tabla V.31. Contenido de humedad del suelo (%) (media ± e. t.) en la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 93,3 ± 9,37 | 50,6 ± 8,46 | 54,6 ± 4,46 | 38,4 ± 6,10 | 68,9 ± 7,21 | 61,2 ± 4,32 |
| 15-30 cm | 70,5 ± 5,45 | 45,6 ± 4,75 | 45,8 ± 2,38 | 34,3 ± 3,57 | 68,1 ± 5,34 | 52,8 ± 2,94 |
| F _{gl=1} | 10,7 | 0,35 | 16,0 | 0,12 | 0,98 | 6,35 |
| Significación | 0,008 | 0,597 | 0,028 | 0,748 | 0,396 | 0,016 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 86,7 ± 7,96 a | 66,8 ± 11,4 a | 55,2 ± 5,22 a | 44,2 ± 9,64 a | 80,9 ± 1,88 a | 66,7 ± 4,80 a |
| Verano | 53,2 ± 5,71 b | 25,6 ± 2,18 b | 37,7 ± 1,06 b | 24,9 ± 3,70 a | 40,6 ± 2,83 b | 36,4 ± 2,77 b |
| Otoño | 94,0 ± 11,9 a | 51,6 ± 4,35 a | 51,4 ± 3,78 a | 34,1 ± 4,69 a | 77,6 ± 3,11 a | 61,8 ± 5,51 a |
| Invierno | 93,6 ± 10,3 a | 48,3 ± 2,53 a | 56,5 ± 5,33 a | 42,2 ± 5,78 a | 74,9 ± 1,88 a | 63,1 ± 4,93 a |
| F _{gl=3} | 11,5 | 35,0 | 28,4 | 1,98 | 488,7 | 47,3 |
| Significación | 0,001 | 0,008 | 0,011 | 0,294 | 0,000 | 0,000 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 85,5 ± 8,29 | 52,3 ± 8,65 | 47,3 ± 2,80 | 35,1 ± 5,83 | 69,1 ± 5,87 | 57,9 ± 3,98 |
| 2 | 78,2 ± 9,05 | 43,9 ± 3,99 | 53,1 ± 4,58 | 37,6 ± 4,09 | 67,9 ± 6,78 | 56,1 ± 3,51 |
| F _{gl=1} | 1,98 | 2,64 | 6,04 | 0,43 | 1,89 | 0,03 |
| Significación | 0,190 | 0,203 | 0,091 | 0,559 | 0,263 | 0,862 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 81,9 ± 6,01 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 48,1 ± 4,73 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 50,2 ± 2,70 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 36,4 ± 3,46 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 68,5 ± 4,34 a |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 51,7 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,60 | 2,57 | 2,72 | 0,40 | 13,1 | 3,58 |
| Significación | 0,659 | 0,230 | 0,217 | 0,767 | 0,031 | 0,021 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,10 | 0,34 | 1,77 | 1,00 | 6,11 | 0,70 |
| Significación | 0,774 | 0,599 | 0,275 | 0,392 | 0,090 | 0,407 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,45 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,236 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,95 | 5,07 | 3,17 | 1,40 | 17,4 | 3,62 |
| Significación | 0,515 | 0,108 | 0,184 | 0,394 | 0,021 | 0,020 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 1,38 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,213 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,49 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,221 |
| R ² | 0,932 | 0,978 | 0,977 | 0,811 | 0,998 | 0,904 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

| Tabla V.32. Contenido de humedad del suelo (%) (media \pm e. t.) en la zona montana seca | | | | |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 31,5 \pm 4,25 | 14,2 \pm 2,81 | 20,9 \pm 2,59 | 22,2 \pm 2,35 |
| 15-30 cm | 31,6 \pm 3,23 | 17,1 \pm 1,93 | 30,4 \pm 2,60 | 26,4 \pm 2,00 |
| F _{gl=1} | 0,01 | 26,7 | 11,0 | 15,5 |
| Significación | 0,915 | 0,014 | 0,045 | 0,001 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 40,9 \pm 1,64 a | 19,5 \pm 1,97 a | 28,8 \pm 4,56 a | 29,7 \pm 3,08 a |
| Verano | 17,4 \pm 2,51 c | 8,02 \pm 1,72 b | 16,6 \pm 3,55 a | 14,0 \pm 1,90 c |
| Otoño | 29,6 \pm 1,20 b | 16,3 \pm 1,14 a | 27,8 \pm 3,33 a | 24,6 \pm 2,09 b |
| Invierno | 38,4 \pm 3,06 ab | 18,8 \pm 4,62 a | 29,4 \pm 3,39 a | 28,9 \pm 3,12 a |
| F _{gl=3} | 59,2 | 55,8 | 4,54 | 46,8 |
| Significación | 0,004 | 0,004 | 0,123 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 30,7 \pm 2,89 | 12,6 \pm 1,53 | 24,5 \pm 3,00 | 22,6 \pm 2,11 |
| 2 | 32,4 \pm 4,46 | 18,7 \pm 2,70 | 26,8 \pm 3,24 | 26,0 \pm 2,28 |
| F _{gl=1} | 1,58 | 35,3 | 0,68 | 10,2 |
| Significación | 0,297 | 0,010 | 0,469 | 0,004 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 31,6 \pm 2,58 a |
| Pinalito | - | - | - | 15,6 \pm 1,69 c |
| Siete Lomas | - | - | - | 25,7 \pm 2,15 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 77,6 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 2,91 | 7,74 | 0,10 | 1,54 |
| Significación | 0,202 | 0,063 | 0,955 | 0,230 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 1,38 | 2,35 | 0,05 | 1,33 |
| Significación | 0,324 | 0,223 | 0,833 | 0,261 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 6,84 |
| Significación | - | - | - | 0,005 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 5,46 | 12,4 | 1,89 | 7,69 |
| Significación | 0,098 | 0,034 | 0,307 | 0,001 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 3,18 |
| Significación | - | - | - | 0,020 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 1,61 |
| Significación | - | - | - | 0,222 |
| R ² | 0,986 | 0,990 | 0,913 | 0,944 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05)

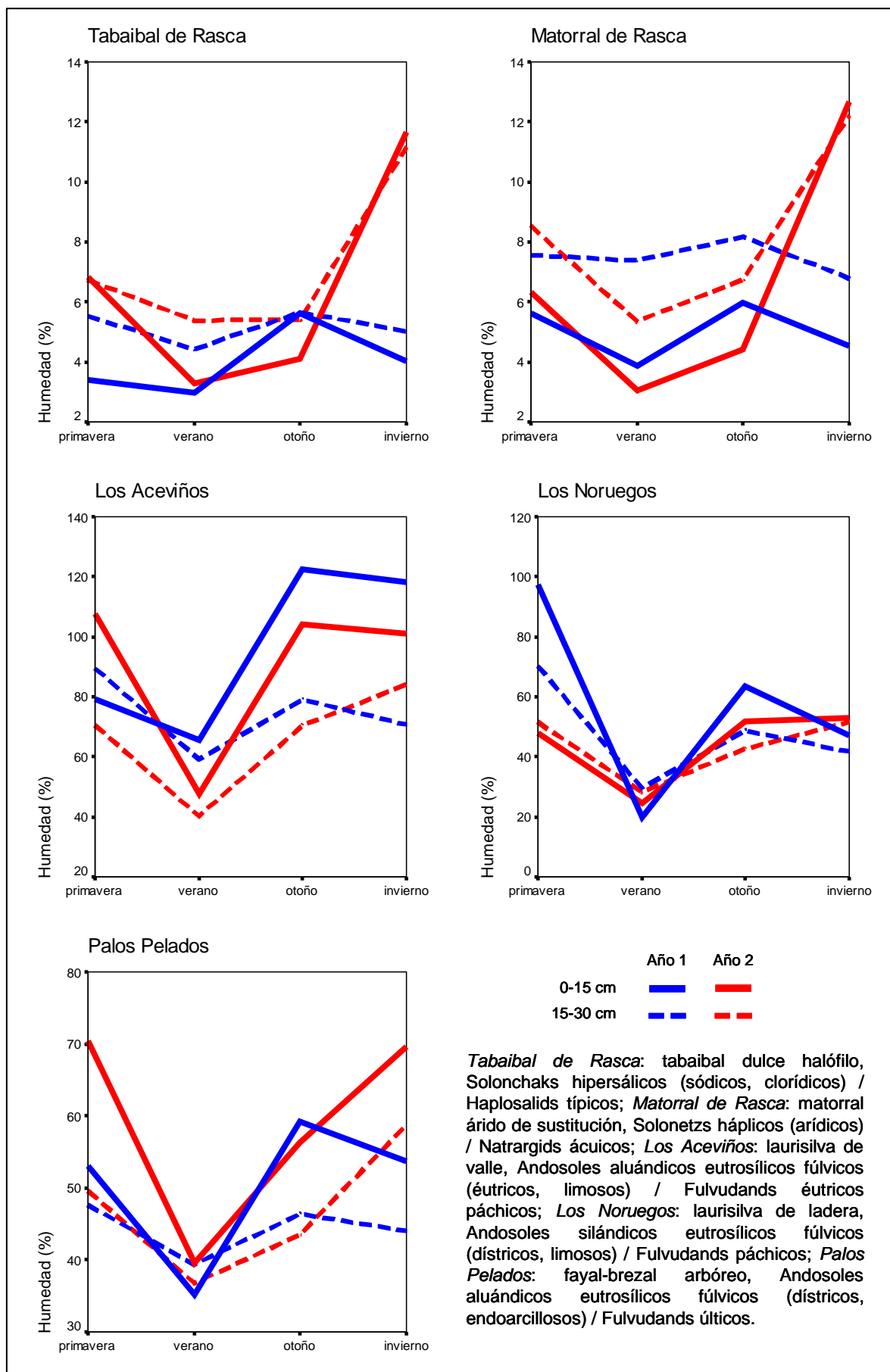


Figura V.13.a. Contenido de humedad del suelo (%)

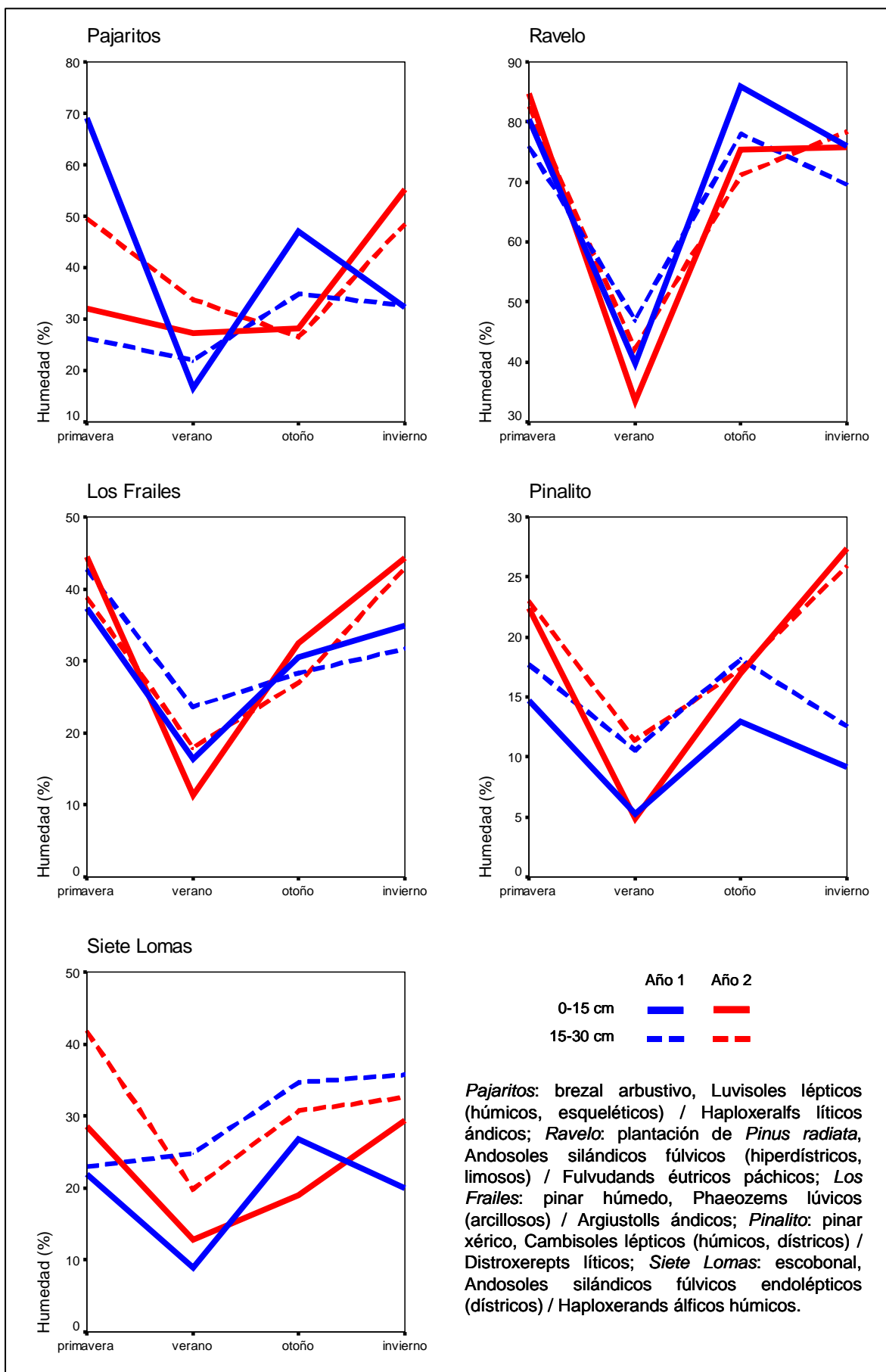


Figura V.13.b. Contenido de humedad del suelo (%)

V.3.2. pH y conductividad eléctrica

Los resultados de la reacción y la salinidad, medidas en extracto de saturación, de todas las muestras de suelo se detallan en las Tablas X.14 y X.15 (Anexos). En esta sección nos ocupamos sólo de los resultados obtenidos en los suelos de la zona costera, debido a la relación existente entre estas propiedades y los contenidos de carbonatos y bicarbonatos del suelo.

El pH medido en extracto saturado en los suelos de la zona costera puede considerarse moderadamente básico (7,8-8,5), si bien es significativamente superior en los Solonetz de la parcela *Matorral de Rasca* que en los Solonchaks de *Tabaibal de Rasca* (Soil Survey Division Staff, 1993) (Tabla V.33; Figura V.14).

| Tabla V.33. pH del extracto saturado de suelo (media \pm e. t.) en la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 7,94 \pm 0,07 | 8,17 \pm 0,09 | 8,06 \pm 0,06 |
| 15-30 cm | 7,79 \pm 0,09 | 8,39 \pm 0,04 | 8,09 \pm 0,09 |
| F _{gl=1} | 1,91 | 6,65 | 0,37 |
| Significación | 0,261 | 0,082 | 0,555 |
| Estación | | | |
| Primavera | 7,99 \pm 0,07 a | 8,22 \pm 0,09 a | 8,10 \pm 0,07 a |
| Verano | 7,58 \pm 0,06 a | 8,30 \pm 0,14 a | 7,94 \pm 0,15 a |
| Otoño | 7,97 \pm 0,12 a | 8,30 \pm 0,12 a | 8,13 \pm 0,10 a |
| Invierno | 7,93 \pm 0,11 a | 8,32 \pm 0,11 a | 8,12 \pm 0,10 a |
| F _{gl=3} | 3,06 | 0,27 | 2,47 |
| Significación | 0,192 | 0,843 | 0,108 |
| Año | | | |
| 1 | 7,81 \pm 0,08 | 8,15 \pm 0,07 | 7,98 \pm 0,07 |
| 2 | 7,92 \pm 0,09 | 8,42 \pm 0,05 | 8,17 \pm 0,08 |
| F _{gl=1} | 0,86 | 9,77 | 10,1 |
| Significación | 0,422 | 0,052 | 0,007 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 7,87 \pm 0,06 |
| Matorral de Rasca | - | - | 8,28 \pm 0,05 |
| F _{gl=1} | - | - | 50,2 |
| Significación | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,53 | 0,14 | 0,41 |
| Significación | 0,692 | 0,932 | 0,751 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,02 | 1,43 | 0,57 |
| Significación | 0,901 | 0,318 | 0,464 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 10,2 |
| Significación | - | - | 0,007 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 0,36 | 0,33 | 0,52 |
| Significación | 0,791 | 0,804 | 0,674 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 3,21 |
| Significación | - | - | 0,058 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 2,06 |
| Significación | - | - | 0,175 |
| R ² | 0,830 | 0,870 | 0,878 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | |

El pH no mostró diferencias significativas ni con la profundidad ni estacionalmente, pero sí se detectó un aumento del pH del primer al segundo año de seguimiento en los suelos de la parcela *Matorral de Rasca*. Se han descrito procesos de alcalinización en suelos de la zona de estudio, relacionados con la presencia de cenizas fonolíticas ricas en bases como material de origen del suelo (Mora *et al.*, 2005), o con el ascenso capilar de bicarbonatos desde los horizontes subsuperficiales del suelo, como consecuencia de la perturbación del horizonte superficial (Mora, 2008). Dado el carácter eminentemente basáltico del material de origen de los suelos de Rasca, la dinámica observada en el pH puede relacionarse con el segundo fenómeno.

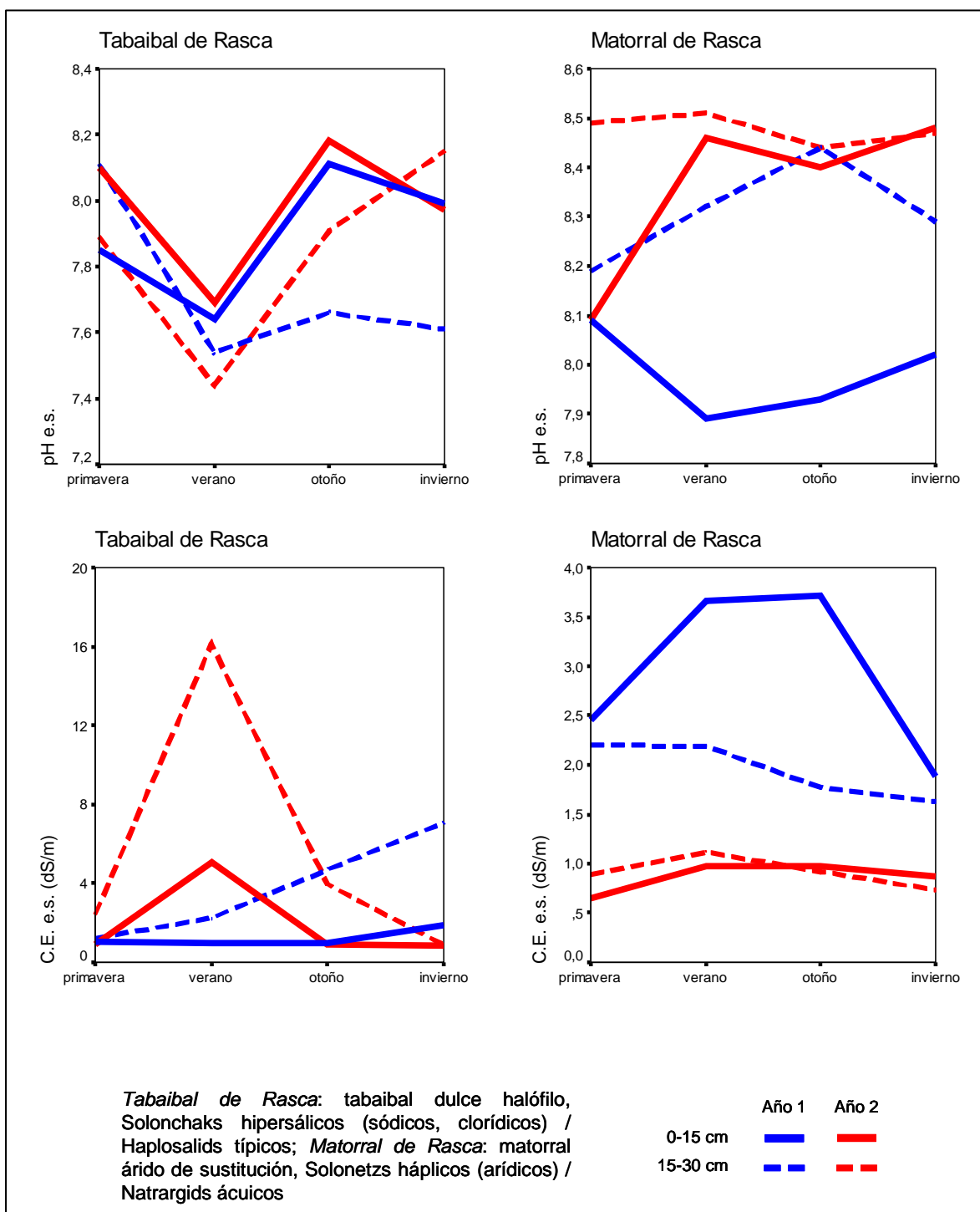


Figura V.14. pH y conductividad eléctrica en extracto saturado de suelo

Los valores de conductividad eléctrica muestran un gran variabilidad, oscilando entre un carácter no-salino ($< 2 \text{ dS m}^{-1}$) y muy salino ($> 8 \text{ dS m}^{-1}$) de los suelos (Tabla V.34; Figura V.14). El valor máximo (16 dS m^{-1}) se alcanzó en *Tabaibal de Rasca* durante el verano del segundo año de estudio. Ese mismo año, los suelos de *Matorral de Rasca* mostraron una menor salinidad, coincidiendo con valores significativamente altos de humedad edáfica que permitieron un mayor lavado de las sales. En *Tabaibal*, la conductividad eléctrica es más alta en profundidad (15-30 cm), mientras que en *Matorral* no hay diferencias o incluso es algo mayor en superficie (0-15 cm).

| Tabla V.34. Conductividad eléctrica del extracto saturado de suelo (dS m^{-1}) (media \pm e. t.) en la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 1,57 \pm 0,51 | 1,90 \pm 0,44 | 1,73 \pm 0,33 |
| 15-30 cm | 4,83 \pm 1,77 | 1,43 \pm 0,21 | 3,13 \pm 0,96 |
| F _{gl=1} | 18,2 | 0,44 | 4,74 |
| Significación | 0,024 | 0,554 | 0,049 |
| Estación | | | |
| Primavera | 1,39 \pm 0,35 a | 1,55 \pm 0,46 a | 1,47 \pm 0,27 a |
| Verano | 6,09 \pm 3,45 a | 1,98 \pm 0,62 a | 4,04 \pm 1,80 a |
| Otoño | 2,64 \pm 0,99 a | 1,84 \pm 0,65 a | 2,24 \pm 0,57 a |
| Invierno | 2,67 \pm 1,49 a | 1,28 \pm 0,28 a | 1,97 \pm 0,75 a |
| F _{gl=3} | 3,81 | 3,68 | 2,15 |
| Significación | 0,150 | 0,156 | 0,143 |
| Año | | | |
| 1 | 2,51 \pm 0,79 | 2,44 \pm 0,29 | 2,47 \pm 0,41 |
| 2 | 3,88 \pm 1,84 | 0,89 \pm 0,05 | 2,39 \pm 0,97 |
| F _{gl=1} | 0,35 | 129,6 | 14,8 |
| Significación | 0,596 | 0,001 | 0,002 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 3,20 \pm 0,98 |
| Matorral de Rasca | - | - | 1,66 \pm 0,25 |
| F _{gl=1} | - | - | 1,93 |
| Significación | - | - | 0,188 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,90 | 1,71 | 0,48 |
| Significación | 0,534 | 0,336 | 0,702 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,02 | 3,15 | 0,18 |
| Significación | 0,891 | 0,174 | 0,680 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 6,78 |
| Significación | - | - | 0,022 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 9,19 | 1,17 | 2,67 |
| Significación | 0,051 | 0,45 | 0,091 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 0,157 |
| Significación | - | - | 0,923 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 12,3 |
| Significación | - | - | 0,004 |
| R ² | 0,953 | 0,981 | 0,814 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | |

V.4. CONTENIDO Y FORMAS DEL CARBONO DEL SUELO

En la presente sección abordamos el estudio de las distintas formas de carbono contenidas en los horizontes edáficos superficiales (hasta 30 cm), los cuales conforman la porción más importante (ver Sección IV.5) y activa de los reservorios de carbono en el suelo, y la más susceptible a los cambios en las condiciones ambientales o el manejo. Prestamos atención a sus principales características químicas, su grado de dinamismo biológico, y especialmente a la aún poco estudiada dinámica temporal de estas fracciones a escala interanual e intraanual.

Las fracciones de carbono estudiadas (ver Sección II.5.3 y II.5.4) incluyen: C oxidable total; C orgánico extraíble con pirofosfato sódico, correspondiente a formas complejadas con la materia mineral; C orgánico soluble en agua caliente, constituido fundamentalmente por carbohidratos y biomasa microbiana; C orgánico ligado a la biomasa microbiana; C orgánico soluble en sulfato potásico, compuesto por formas lábiles; C orgánico disuelto en el extracto de saturación del suelo seco al aire; C orgánico soluble en agua contenido en la muestra fresca; C inorgánico soluble en forma de bicarbonatos; y C inorgánico en forma de caliza. Los datos brutos de estos parámetros se detallan en las Tablas X.16-X-29 (Anexos).

Un Análisis de Componentes Principales de los contenidos de estas fracciones (Figura V.15) nos permite observar los principales gradientes de variación de las mismas. A efectos comparativos, incluimos también en el análisis el carbono mineralizado en un ensayo de incubación (ver más adelante Sección V.5.2), que podemos considerar una estimación del carbono potencialmente mineralizable; y el contenido de nitrógeno total del suelo.

El eje I del PCA condensa un gradiente de variación de gran intensidad (63% de varianza explicada) que se correlaciona positivamente con todas las formas de carbono orgánico consideradas, y negativamente con las inorgánicas. A lo largo de este eje se suceden los distintos ecosistemas zonales estudiados: costero en el semieje negativo, montano seco en el centro, y montano húmedo en su tramo positivo. En relación al tipo de suelo, el eje I localiza en su extremo negativo a los Solonchaks/Solonetz, y en el positivo a los suelos ándicos, correspondiendo a las restantes tipologías (Cambisoles, Faeozems) una posición intermedia.

La mayoría de las muestras se distribuyen a lo largo del eje I de acuerdo a factores como la profundidad, recibiendo mayores puntuaciones las muestras superficiales; o la estacionalidad, tendiendo los valores de invierno a obtener menores puntuaciones que los de otoño, primavera y, sobre todo, verano. Sólo las muestras de los suelos costeros no se segregan entre sí en este primer eje, aglomerándose en un estrecho rango de puntuaciones en torno a -0,5; sí lo hacen en el eje II en función sobre todo de sus contenidos de carbono inorgánico (bicarbonatos solubles, caliza activa), alcanzando mayores puntuaciones las muestras de suelo superficial (0-15 cm) y de la parcela *Matorral de Rasca*.

La representación del segundo y tercer componentes principales, de mucho menor poder explicativo (11% y 7%, respectivamente), permite sin embargo apreciar la mayor o menor relación existente entre las distintas fracciones de carbono orgánico, más allá de la fuerte correlación de todas ellas entre sí y con el eje I. Así, los contenidos de formas solubles presentes en el suelo fresco y en el suelo seco al aire, máximos en el suelo de *Pajaritos*, se correlacionan estrechamente con el carbono mineralizado durante el ensayo de incubación. Este resultado

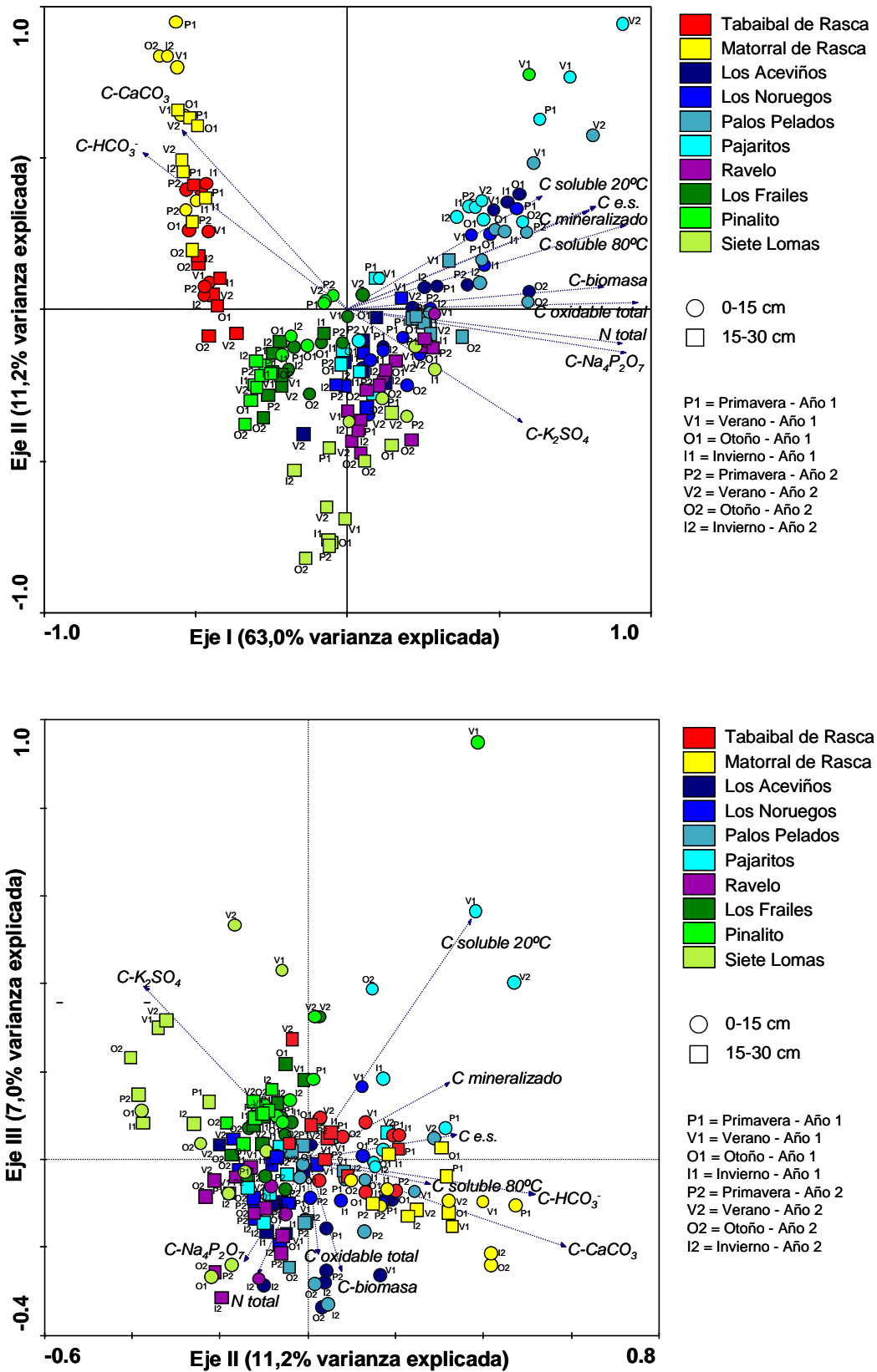


Figura V.15. Análisis de Componentes Principales de las distintas formas de carbono y del nitrógeno del suelo

NOTA: Se incluye el carbono mineralizado en incubación estática (ver Sección V.5.2)

sugiere que las formas de carbono que más fácilmente se mineralizan son precisamente aquellas solubles en agua presentes en el suelo fresco, junto a aquellas formas lábiles que se descomponen durante el secado del suelo dando lugar a compuestos hidrosolubles.

También se correlacionan los contenidos de carbono en formas complejadas y de nitrógeno total, reflejando una importante participación de este elemento en este tipo de formas orgánicas. Pese a que tradicionalmente el nitrógeno edáfico se ha asociado sobre todo a formas no-complejadas como proteínas, ácidos nucleicos, quitina, peptidoglicanos o aminoazúcares, el nitrógeno puede pasar a formar una parte esencial de las formas organominerales de carbono a través de la incorporación del amonio a las moléculas del humus, o la unión entre proteínas y arcillas (Coyne, 2000).

Se observa asimismo una íntima correlación entre los contenidos de carbono orgánico oxidable total y de la biomasa microbiana, indicando que esta última constituye una fracción relativamente constante del carbono total en los suelos estudiados.

V.4.1. Carbono orgánico oxidable y nitrógeno totales

El carbono orgánico oxidable total comprende todas las formas de carbono oxidables del suelo, incluyendo ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, sustancias no-húmicas sencillas (azúcares, aminoácidos) y complejas (proteínas, polisacáridos), biomasa microbiana y restos vegetales y animales senescentes. No incluye el *black carbon* y otras formas piromórficas no-oxidables (Porta *et al.*, 2003). El contenido de nitrógeno total abarca sobre todo formas orgánicas de nitrógeno, aunque también incluye al nitrógeno amoniacal y nítrico (Burt, 2004).

i) ZONA COSTERA

Los contenidos totales de carbono orgánico de los suelos estudiados en la zona costera son mayores en la parcela con vegetación madura (*Tabaibal de Rasca*) y en los primeros 15 cm de profundidad (Tabla V.35; Figura V.16.a). El patrón estacional es paralelo en las dos profundidades de estudio, pero muy distinto en los suelos de las dos parcelas y entre los dos años de muestreo. Sí se observa una marcada variación interanual, con un descenso muy pronunciado del contenido de carbono del primer al segundo año.

El nitrógeno total es mucho menos variable, y no muestra diferencias claras entre los suelos, estaciones y años estudiados, aunque sí es mayor en los primeros 15 cm del suelo (Tabla V.36; Figura 17.a). La relativa estabilidad del nitrógeno frente al dinamismo mostrado por el carbono orgánico puede observarse en las diferencias entre los valores de la relación C/N de los dos suelos de estudio y de ambos años de muestreo (Tabla V.37; Figura 18.a).

| Tabla V.35. Carbono orgánico oxidable total (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|---------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 4,14 ± 0,40 | 2,26 ± 0,27 | 3,20 ± 0,34 |
| 15-30 cm | 2,45 ± 0,21 | 1,68 ± 0,15 | 2,06 ± 0,16 |
| F _{gl=1} | 47,3 | 10,7 | 30,6 |
| Significación | 0,006 | 0,047 | 0,000 |
| Estación | | | |
| Primavera | 3,58 ± 0,58 a | 2,21 ± 0,53 a | 2,89 ± 0,45 a |
| Verano | 2,67 ± 0,64 a | 2,20 ± 0,36 a | 2,44 ± 0,35 a |
| Otoño | 3,01 ± 0,54 a | 1,76 ± 0,21 a | 2,39 ± 0,36 a |
| Invierno | 3,91 ± 0,75 a | 1,71 ± 0,22 a | 2,81 ± 0,55 a |
| F _{gl=3} | 5,42 | 1,85 | 0,93 |
| Significación | 0,099 | 0,314 | 0,454 |
| Año | | | |
| 1 | 3,67 ± 0,42 | 2,39 ± 0,25 | 3,03 ± 0,29 |
| 2 | 2,92 ± 0,44 | 1,55 ± 0,10 | 2,23 ± 0,28 |
| F _{gl=1} | 10,8 | 23,5 | 27,1 |
| Significación | 0,046 | 0,017 | 0,000 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 3,29 ± 0,31 |
| Matorral de Rasca | - | - | 1,97 ± 0,17 |
| F _{gl=1} | - | - | 52,7 |
| Significación | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,92 | 0,508 | 0,52 |
| Significación | 0,526 | 0,704 | 0,679 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,09 | 0,322 | 0,00 |
| Significación | 0,782 | 0,610 | 0,981 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,96 |
| Significación | - | - | 0,346 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 5,75 | 1,957 | 2,78 |
| Significación | 0,092 | 0,298 | 0,083 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 3,90 |
| Significación | - | - | 0,034 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 2,33 |
| Significación | - | - | 0,151 |
| R ² | 0,969 | 0,941 | 0,914 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.36. Nitrógeno total (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | $0,37 \pm 0,04$ | $0,28 \pm 0,02$ | $0,32 \pm 0,02$ |
| 15-30 cm | $0,26 \pm 0,02$ | $0,22 \pm 0,01$ | $0,24 \pm 0,11$ |
| $F_{gl=1}$ | 3,51 | 10,9 | 6,65 |
| Significación | 0,158 | 0,045 | 0,023 |
| Estación | | | |
| Primavera | $0,34 \pm 0,05$ a | $0,27 \pm 0,04$ a | $0,30 \pm 0,04$ a |
| Verano | $0,27 \pm 0,05$ a | $0,23 \pm 0,04$ a | $0,25 \pm 0,03$ a |
| Otoño | $0,32 \pm 0,04$ a | $0,26 \pm 0,01$ a | $0,29 \pm 0,02$ a |
| Invierno | $0,31 \pm 0,07$ a | $0,23 \pm 0,01$ a | $0,27 \pm 0,04$ a |
| $F_{gl=3}$ | 0,38 | 1,17 | 1,46 |
| Significación | 0,777 | 0,449 | 0,270 |
| Año | | | |
| 1 | $0,31 \pm 0,03$ | $0,27 \pm 0,03$ | $0,29 \pm 0,02$ |
| 2 | $0,31 \pm 0,04$ | $0,22 \pm 0,01$ | $0,27 \pm 0,02$ |
| $F_{gl=1}$ | 0,00 | 3,93 | 0,71 |
| Significación | 0,958 | 0,142 | 0,415 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | $0,31 \pm 0,03$ |
| Matorral de Rasca | - | - | $0,25 \pm 0,01$ |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 2,85 |
| Significación | - | - | 0,116 |
| Profundidad x Estación | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,64 | 1,07 | 1,60 |
| Significación | 0,638 | 0,479 | 0,238 |
| Profundidad x Año | | | |
| $F_{gl=1}$ | 1,07 | 2,02 | 0,33 |
| Significación | 0,378 | 0,250 | 0,578 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,15 |
| Significación | - | - | 0,705 |
| Estación x Año | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,92 | 1,19 | 1,45 |
| Significación | 0,527 | 0,446 | 0,273 |
| Estación x Parcela | | | |
| $F_{gl=3}$ | - | - | 0,05 |
| Significación | - | - | 0,985 |
| Año x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,47 |
| Significación | - | - | 0,503 |
| R^2 | 0,776 | 0,901 | 0,656 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | |

| Tabla V.37. Relación C/N (media ± e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|---|-------------------|-------------------|---------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 12,8 ± 3,14 | 7,99 ± 0,39 | 10,4 ± 1,65 |
| 15-30 cm | 9,56 ± 0,44 | 7,88 ± 0,81 | 8,72 ± 0,50 |
| F _{gl=1} | 1,09 | 0,52 | 1,83 |
| Significación | 0,372 | 0,524 | 0,199 |
| Estación | | | |
| Primavera | 10,5 ± 0,32 a | 8,07 ± 0,88 a | 9,28 ± 0,63 a |
| Verano | 9,74 ± 0,86 a | 9,55 ± 0,94 a | 9,65 ± 0,59 a |
| Otoño | 9,16 ± 0,47 a | 6,78 ± 0,50 a | 7,97 ± 0,55 a |
| Invierno | 15,4 ± 6,41 a | 7,33 ± 0,67 a | 11,4 ± 3,35 a |
| F _{gl=3} | 0,83 | 7,20 | 1,34 |
| Significación | 0,558 | 0,070 | 0,304 |
| Año | | | |
| 1 | 13,2 ± 3,09 | 8,93 ± 0,61 | 11,1 ± 1,62 |
| 2 | 9,19 ± 0,32 | 6,94 ± 0,40 | 8,06 ± 0,38 |
| F _{gl=1} | 1,65 | 21,0 | 9,68 |
| Significación | 0,289 | 0,019 | 0,008 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 11,2 ± 1,59 |
| Matorral de Rasca | - | - | 7,94 ± 0,44 |
| F _{gl=1} | - | - | 13,0 |
| Significación | - | - | 0,003 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 1,06 | 3,05 | 2,74 |
| Significación | 0,481 | 0,192 | 0,086 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,83 | 0,55 | 0,36 |
| Significación | 0,431 | 0,514 | 0,557 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,75 |
| Significación | - | - | 0,401 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 1,02 | 0,656 | 1,12 |
| Significación | 0,494 | 0,631 | 0,378 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 1,85 |
| Significación | - | - | 0,187 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,00 |
| Significación | - | - | 0,980 |
| R ² | 0,804 | 0,948 | 0,783 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p<0,05) | | | |

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Los suelos estudiados en la zona montana húmeda muestran contenidos más elevados de carbono oxidable y nitrógeno total en sus primeros 15 cm de profundidad. También se observa una tendencia de la relación C/N al descenso con la profundidad, evidente en los suelos de *Los Aceviños*, *Los Noruegos* y *Ravelo* (Tablas V.38-V.40; Figuras V.16-V.18).

El contenido de carbono oxidable es muy superior en los suelos de *Palos Pelados*, mientras que el nitrógeno total varía entre los valores más altos de *Palos Pelados*, *Los Aceviños* y *Ravelo*, y los más bajos en *Pajaritos* y *Los Noruegos*. La relación C/N es máxima en *Pajaritos*, intermedia en *Los Noruegos* y *Palos Pelados*, y menor en *Los Aceviños* y *Ravelo*.

El carbono oxidable muestra una variación estacional muy irregular en los distintos suelos, aunque en conjunto los contenidos de carbono tienden a ser algo más bajos durante el invierno. Tampoco se distingue un patrón estacional claro en el nitrógeno, sólo se observa un menor contenido en invierno en *Pajaritos*, ni en la relación C/N.

En general se observa un descenso en los valores de carbono y nitrógeno y de la relación C/N entre el primer y el segundo año del seguimiento, con las mayores diferencias en parcelas con vegetación arbórea (*Los Aceviños*, *Los Noruegos* o *Ravelo*). Un caso particular lo constituye el suelo de *Pajaritos*, donde el carbono y el nitrógeno tienden a disminuir de un año a otro en superficie (0-15 cm) y a aumentar en profundidad (15-30 cm), lo que sugiere una redistribución de la materia orgánica en el perfil.

iii) ZONA MONTANA SECA

También en este ecosistema, el carbono oxidable y el nitrógeno total se concentran en sus primeros 15 cm de espesor, con sus mayores contenidos en *Siete Lomas* (Andosoles), intermedios en *Los Frailes* (Phaeozems) y menores en *Pinalito* (Cambisoles) (Tablas V.41-V.43; Figuras 16.b-18.b). La relación C/N más alta la encontramos en los suelos de la parcela *Pinalito* y la más baja en *Siete Lomas*.

La variación estacional del carbono oxidable es muy irregular entre años de muestreo y suelos estudiados, salvo en *Siete Lomas* donde el contenido es mayor en los meses de primavera. El nitrógeno muestra un dinamismo estacional más definido, distinto según la parcela: máximo en verano y mínimo en primavera en *Los Frailes*, mayor en verano en *Pinalito*, y mayor en primavera en *Siete Lomas*.

Se observa un descenso del contenido de carbono y de nitrógeno y la relación C/N entre los dos años de estudio, significativamente mayor en superficie. Como en la parcela *Pajaritos* (ver Sección anterior), el contenido de nitrógeno del suelo en *Los Frailes* tiende a disminuir en los primeros 15 cm en el segundo año de seguimiento y a aumentar de 15 a 30 cm.

| Tabla V.38. Carbono orgánico oxidable total (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 179,1 ± 13,6 | 163,8 ± 13,3 | 196,7 ± 6,07 | 166,2 ± 9,81 | 157,0 ± 7,47 | 172,6 ± 4,98 |
| 15-30 cm | 96,8 ± 6,85 | 99,2 ± 4,83 | 141,3 ± 3,73 | 98,8 ± 4,63 | 110,2 ± 4,14 | 109,3 ± 3,40 |
| F _{gl=1} | 133,7 | 42,6 | 96,3 | 65,6 | 85,9 | 322,7 |
| Significación | 0,001 | 0,007 | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 133,8 ± 18,9 a | 144,4 ± 26,8 a | 174,7 ± 23,0 a | 137,5 ± 26,2 a | 143,1 ± 18,1 a | 146,7 ± 9,69 a |
| Verano | 120,9 ± 33,5 a | 128,3 ± 17,3 a | 165,9 ± 16,4 a | 148,7 ± 22,8 a | 125,0 ± 19,1 a | 137,8 ± 9,82 ab |
| Otoño | 158,7 ± 33,0 a | 124,9 ± 22,2 a | 172,2 ± 14,7 a | 135,1 ± 19,8 a | 134,4 ± 12,7 a | 145,0 ± 9,52 a |
| Invierno | 138,4 ± 22,9 a | 128,4 ± 27,2 a | 163,3 ± 14,8 a | 108,8 ± 13,5 a | 131,8 ± 12,6 a | 134,1 ± 8,60 b |
| F _{gl=3} | 6,28 | 0,68 | 0,56 | 4,00 | 2,89 | 2,85 |
| Significación | 0,083 | 0,622 | 0,678 | 0,143 | 0,204 | 0,049 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 155,1 ± 18,8 | 151,8 ± 17,5 | 167,9 ± 11,1 | 136,0 ± 17,1 | 144,6 ± 11,1 | 151,1 ± 6,79 |
| 2 | 120,8 ± 16,6 | 111,2 ± 8,64 | 170,1 ± 12,1 | 129,1 ± 12,0 | 122,5 ± 8,40 | 130,7 ± 6,03 |
| F _{gl=1} | 25,6 | 11,2 | 0,08 | 0,00 | 17,0 | 32,3 |
| Significación | 0,015 | 0,044 | 0,791 | 0,989 | 0,026 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 138,0 ± 12,9 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 131,5 ± 10,8 a |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 169,0 ± 7,94 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 132,5 ± 10,2 a |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 133,6 ± 7,32 a |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 17,1 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,49 | 0,62 | 1,66 | 0,40 | 1,36 | 0,84 |
| Significación | 0,375 | 0,648 | 0,344 | 0,762 | 0,402 | 0,478 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 2,95 | 0,24 | 5,15 |
| Significación | 0,994 | 1,000 | 0,648 | 0,184 | 0,656 | 0,028 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 4,33 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,005 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 6,37 | 0,35 | 3,25 | 1,02 | 1,12 | 2,09 |
| Significación | 0,081 | 0,792 | 0,180 | 0,494 | 0,465 | 0,116 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 2,48 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,014 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 5,57 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,001 |
| R ² | 0,985 | 0,951 | 0,974 | 0,966 | 0,975 | 0,923 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

| Tabla V.39. Nitrógeno total (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 11,2 \pm 0,65 | 9,07 \pm 0,69 | 11,1 \pm 0,34 | 8,82 \pm 0,47 | 9,44 \pm 0,24 | 9,92 \pm 0,27 |
| 15-30 cm | 7,22 \pm 0,44 | 5,92 \pm 0,26 | 7,91 \pm 0,24 | 5,24 \pm 0,19 | 7,57 \pm 0,26 | 6,77 \pm 0,20 |
| F _{gl=1} | 49,7 | 69,3 | 60,2 | 2374,1 | 39,1 | 271,5 |
| Significación | 0,006 | 0,004 | 0,004 | 0,000 | 0,008 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 9,03 \pm 1,14 a | 8,20 \pm 1,32 a | 9,51 \pm 1,35 a | 7,39 \pm 1,37 b | 8,99 \pm 0,59 a | 8,63 \pm 0,50 a |
| Verano | 8,23 \pm 1,53 a | 7,01 \pm 0,63 a | 9,23 \pm 0,95 a | 7,73 \pm 1,14 a | 8,03 \pm 0,62 a | 8,04 \pm 0,44 a |
| Otoño | 10,1 \pm 1,67 a | 7,17 \pm 1,09 a | 9,92 \pm 0,85 a | 7,06 \pm 1,14 b | 8,30 \pm 0,72 a | 8,50 \pm 0,54 a |
| Invierno | 9,50 \pm 1,06 a | 7,60 \pm 1,48 a | 9,36 \pm 0,81 a | 5,93 \pm 0,63 c | 8,70 \pm 0,55 a | 8,22 \pm 0,49 a |
| F _{gl=3} | 1,89 | 1,02 | 0,53 | 88,9 | 2,00 | 1,92 |
| Significación | 0,307 | 0,495 | 0,691 | 0,002 | 0,291 | 0,141 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 10,1 \pm 0,86 | 8,52 \pm 0,86 | 9,28 \pm 0,60 | 7,10 \pm 0,90 | 8,85 \pm 0,44 | 8,77 \pm 0,36 |
| 2 | 8,30 \pm 0,88 | 6,47 \pm 0,46 | 9,73 \pm 0,72 | 6,96 \pm 0,61 | 8,15 \pm 0,39 | 7,92 \pm 0,33 |
| F _{gl=1} | 10,2 | 25,2 | 1,25 | 16,5 | 5,42 | 19,7 |
| Significación | 0,050 | 0,015 | 0,346 | 0,027 | 0,102 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 9,21 \pm 0,64 ab |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 7,49 \pm 0,54 c |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 9,50 \pm 0,46 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 7,03 \pm 0,52 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 8,50 \pm 0,30 b |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 24,9 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,85 | 1,37 | 0,74 | 28,2 | 0,23 | 1,45 |
| Significación | 0,554 | 0,401 | 0,594 | 0,011 | 0,874 | 0,243 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,04 | 0,32 | 0,20 | 179,0 | 0,56 | 4,40 |
| Significación | 0,847 | 0,610 | 0,687 | 0,001 | 0,508 | 0,042 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 3,42 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,016 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,87 | 0,42 | 2,15 | 2,08 | 1,21 | 1,94 |
| Significación | 0,311 | 0,751 | 0,273 | 0,281 | 0,439 | 0,138 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 1,93 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,057 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 6,28 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| R ² | 0,961 | 0,972 | 0,960 | 0,999 | 0,949 | 0,917 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.40. Relación C/N (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 15,9 ± 0,50 | 18,0 ± 0,45 | 17,8 ± 0,40 | 18,8 ± 0,35 | 16,6 ± 0,47 | 17,4 ± 0,25 |
| 15-30 cm | 13,4 ± 0,45 | 16,8 ± 0,33 | 17,9 ± 0,25 | 18,9 ± 0,65 | 14,6 ± 0,38 | 16,3 ± 0,38 |
| F _{gl=1} | 367,6 | 18,0 | 0,41 | 0,020 | 68,8 | 15,1 |
| Significación | 0,000 | 0,024 | 0,567 | 0,896 | 0,004 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 14,7 ± 0,66 ab | 17,4 ± 0,48 a | 18,5 ± 0,66 a | 18,7 ± 1,29 a | 15,7 ± 0,99 a | 17,0 ± 0,49 a |
| Verano | 14,0 ± 1,29 a | 18,1 ± 0,89 a | 18,0 ± 0,38 a | 19,2 ± 0,29 a | 15,4 ± 1,21 a | 16,9 ± 0,58 a |
| Otoño | 15,5 ± 0,92 b | 17,3 ± 0,69 a | 17,4 ± 0,35 a | 19,3 ± 0,58 a | 16,2 ± 0,25 a | 17,1 ± 0,38 a |
| Invierno | 14,3 ± 0,93 a | 16,8 ± 0,38 a | 17,4 ± 0,24 a | 18,2 ± 0,42 a | 15,1 ± 0,51 a | 16,4 ± 0,40 a |
| F _{gl=3} | 23,3 | 3,39 | 3,11 | 0,35 | 3,89 | 2,19 |
| Significación | 0,014 | 0,172 | 0,188 | 0,796 | 0,147 | 0,103 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 15,0 ± 0,66 | 17,6 ± 0,58 | 18,1 ± 0,40 | 19,2 ± 0,54 | 16,2 ± 0,56 | 17,2 ± 0,33 |
| 2 | 14,2 ± 0,65 | 17,2 ± 0,25 | 17,5 ± 0,17 | 18,5 ± 0,46 | 15,0 ± 0,47 | 16,5 ± 0,32 |
| F _{gl=1} | 38,5 | 2,32 | 4,08 | 0,79 | 26,5 | 10,7 |
| Significación | 0,008 | 0,225 | 0,137 | 0,440 | 0,014 | 0,002 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 14,6 ± 0,46 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 17,4 ± 0,31 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 17,8 ± 0,23 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 18,9 ± 0,35 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 15,6 ± 0,39 a |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 37,1 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 14,0 | 1,34 | 0,22 | 0,21 | 7,22 | 0,30 |
| Significación | 0,029 | 0,409 | 0,874 | 0,882 | 0,069 | 0,826 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 21,2 | 7,59 | 2,41 | 0,26 | 4,26 | 2,67 |
| Significación | 0,019 | 0,070 | 0,218 | 0,644 | 0,131 | 0,110 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 3,50 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,015 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 61,9 | 6,85 | 6,33 | 1,87 | 6,87 | 8,25 |
| Significación | 0,003 | 0,074 | 0,082 | 0,311 | 0,074 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 0,69 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,755 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 0,15 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,963 |
| R ² | 0,996 | 0,954 | 0,923 | 0,736 | 0,981 | 0,843 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.41. Carbono orgánico oxidable total (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 62,3 \pm 5,38 | 47,1 \pm 10,5 | 110,7 \pm 10,1 | 73,4 \pm 7,51 |
| 15-30 cm | 29,6 \pm 2,30 | 17,1 \pm 2,31 | 60,6 \pm 4,23 | 35,8 \pm 4,18 |
| F _{gl=1} | 44,5 | 50,0 | 536,0 | 204,1 |
| Significación | 0,007 | 0,006 | 0,000 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 46,8 \pm 14,1 a | 34,6 \pm 8,18 a | 95,5 \pm 16,1 a | 59,0 \pm 10,5 a |
| Verano | 56,0 \pm 9,98 a | 49,3 \pm 22,7 a | 76,2 \pm 12,7 b | 60,5 \pm 9,10 a |
| Otoño | 42,7 \pm 9,36 a | 22,8 \pm 7,98 a | 84,7 \pm 19,8 b | 50,1 \pm 10,5 b |
| Invierno | 38,4 \pm 8,49 a | 21,5 \pm 5,07 a | 86,1 \pm 22,7 b | 48,7 \pm 11,1 b |
| F _{gl=3} | 2,38 | 6,41 | 14,6 | 9,30 |
| Significación | 0,247 | 0,081 | 0,027 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 46,5 \pm 7,14 | 40,2 \pm 11,7 | 99,2 \pm 12,0 | 62,0 \pm 8,01 |
| 2 | 45,4 \pm 7,72 | 23,9 \pm 4,88 | 72,1 \pm 10,1 | 47,1 \pm 5,97 |
| F _{gl=1} | 0,07 | 10,7 | 179,0 | 24,3 |
| Significación | 0,809 | 0,047 | 0,001 | 0,000 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 46,0 \pm 5,08 b |
| Pinalito | - | - | - | 32,1 \pm 6,49 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 85,6 \pm 8,34 c |
| F _{gl=2} | - | - | - | 153,2 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,29 | 0,55 | 6,35 | 0,06 |
| Significación | 0,830 | 0,684 | 0,082 | 0,981 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,05 | 0,89 | 1,20 | 0,67 |
| Significación | 0,843 | 0,415 | 0,354 | 0,423 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 3,65 |
| Significación | - | - | - | 0,042 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 1,25 | 2,63 | 27,0 | 5,41 |
| Significación | 0,430 | 0,224 | 0,011 | 0,006 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 4,01 |
| Significación | - | - | - | 0,007 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 5,04 |
| Significación | - | - | - | 0,015 |
| R ² | 0,949 | 0,968 | 0,997 | 0,964 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | |

| Tabla V.42. Nitrógeno total (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 3,06 \pm 0,22 | 2,02 \pm 0,36 | 9,90 \pm 0,82 | 5,00 \pm 0,79 |
| 15-30 cm | 1,62 \pm 0,13 | 0,78 \pm 0,08 | 5,53 \pm 0,45 | 2,64 \pm 0,46 |
| $F_{gl=1}$ | 294,2 | 154,6 | 567,4 | 201,6 |
| Significación | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 2,18 \pm 0,65 a | 1,53 \pm 0,44 ab | 8,83 \pm 1,45 a | 4,18 \pm 1,11 ab |
| Verano | 2,72 \pm 0,39 b | 2,02 \pm 0,78 a | 6,83 \pm 0,98 b | 3,86 \pm 0,75 a |
| Otoño | 2,25 \pm 0,40 ab | 1,06 \pm 0,29 bc | 7,74 \pm 1,77 b | 3,69 \pm 1,04 b |
| Invierno | 2,21 \pm 0,45 ab | 1,00 \pm 0,20 c | 7,45 \pm 1,88 b | 3,55 \pm 1,03 b |
| $F_{gl=3}$ | 13,2 | 10,9 | 20,6 | 5,60 |
| Significación | 0,031 | 0,041 | 0,017 | 0,005 |
| Año | | | | |
| 1 | 2,29 \pm 0,35 | 1,65 \pm 0,42 | 8,84 \pm 0,98 | 4,26 \pm 0,77 |
| 2 | 2,39 \pm 0,31 | 1,16 \pm 0,24 | 6,59 \pm 0,95 | 3,38 \pm 0,59 |
| $F_{gl=1}$ | 4,40 | 17,9 | 171,4 | 13,5 |
| Significación | 0,127 | 0,024 | 0,001 | 0,001 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 2,34 \pm 0,22 b |
| Pinalito | - | - | - | 1,40 \pm 0,24 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 7,72 \pm 0,72 c |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 457,8 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 5,22 | 0,44 | 7,70 | 0,97 |
| Significación | 0,104 | 0,743 | 0,064 | 0,425 |
| Profundidad x Año | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 7,85 | 1,41 | 0,83 | 0,66 |
| Significación | 0,068 | 0,320 | 0,429 | 0,425 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 3,41 |
| Significación | - | - | - | 0,051 |
| Estación x Año | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 23,5 | 3,35 | 33,8 | 7,60 |
| Significación | 0,014 | 0,174 | 0,008 | 0,001 |
| Estación x Parcela | | | | |
| $F_{gl=6}$ | - | - | - | 4,17 |
| Significación | - | - | - | 0,006 |
| Año x Parcela | | | | |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 6,93 |
| Significación | - | - | - | 0,004 |
| R^2 | 0,993 | 0,986 | 0,997 | 0,981 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | |

| Tabla V.43. Relación C/N (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 20,3 \pm 0,61 | 22,5 \pm 0,88 | 11,1 \pm 0,26 | 18,0 \pm 1,08 |
| 15-30 cm | 18,8 \pm 1,50 | 21,5 \pm 1,30 | 11,1 \pm 0,18 | 17,1 \pm 1,12 |
| F _{gl=1} | 0,45 | 3,97 | 0,07 | 3,47 |
| Significación | 0,553 | 0,141 | 0,809 | 0,075 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 22,0 \pm 2,34 a | 23,8 \pm 1,86 a | 10,8 \pm 0,13 a | 18,9 \pm 1,96 a |
| Verano | 20,4 \pm 1,30 a | 22,8 \pm 1,62 a | 11,1 \pm 0,30 a | 18,1 \pm 1,65 a |
| Otoño | 18,5 \pm 0,82 a | 20,4 \pm 1,41 a | 11,0 \pm 0,37 a | 16,7 \pm 1,33 a |
| Invierno | 17,1 \pm 0,60 a | 21,0 \pm 1,14 a | 11,5 \pm 0,33 a | 16,5 \pm 1,24 a |
| F _{gl=3} | 1,83 | 4,16 | 0,89 | 1,83 |
| Significación | 0,316 | 0,136 | 0,537 | 0,171 |
| Año | | | | |
| 1 | 20,7 \pm 1,36 | 23,4 \pm 1,31 | 11,2 \pm 0,18 | 18,4 \pm 1,25 |
| 2 | 18,4 \pm 0,73 | 20,6 \pm 0,50 | 11,0 \pm 0,25 | 16,7 \pm 0,90 |
| F _{gl=1} | 2,16 | 8,79 | 0,11 | 5,74 |
| Significación | 0,238 | 0,059 | 0,766 | 0,025 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 19,5 \pm 0,80 b |
| Pinalito | - | - | - | 22,0 \pm 0,77 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 11,1 \pm 0,15 c |
| F _{gl=2} | - | - | - | 311,8 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,26 | 6,61 | 0,66 | 1,16 |
| Significación | 0,849 | 0,078 | 0,629 | 0,345 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 1,22 | 2,18 | 2,19 | 0,22 |
| Significación | 0,349 | 0,237 | 0,235 | 0,644 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,82 |
| Significación | - | - | - | 0,452 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 0,86 | 1,04 | 0,85 | 1,64 |
| Significación | 0,550 | 0,488 | 0,550 | 0,208 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 1,94 |
| Significación | - | - | - | 0,116 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,74 |
| Significación | - | - | - | 0,487 |
| R ² | 0,808 | 0,944 | 0,762 | 0,966 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

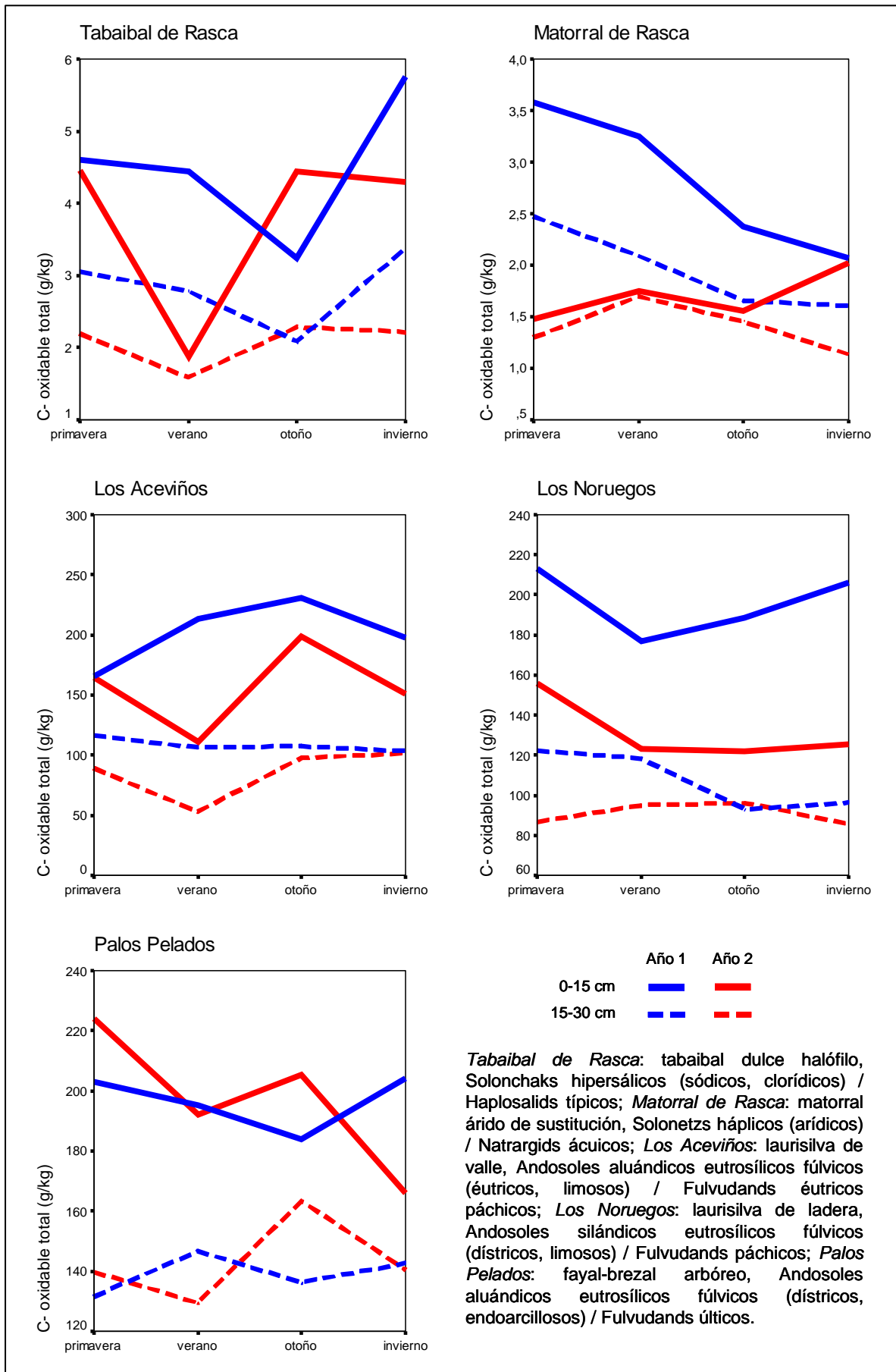


Figura V.16.a. Carbono orgánico oxidable total (g kg^{-1})

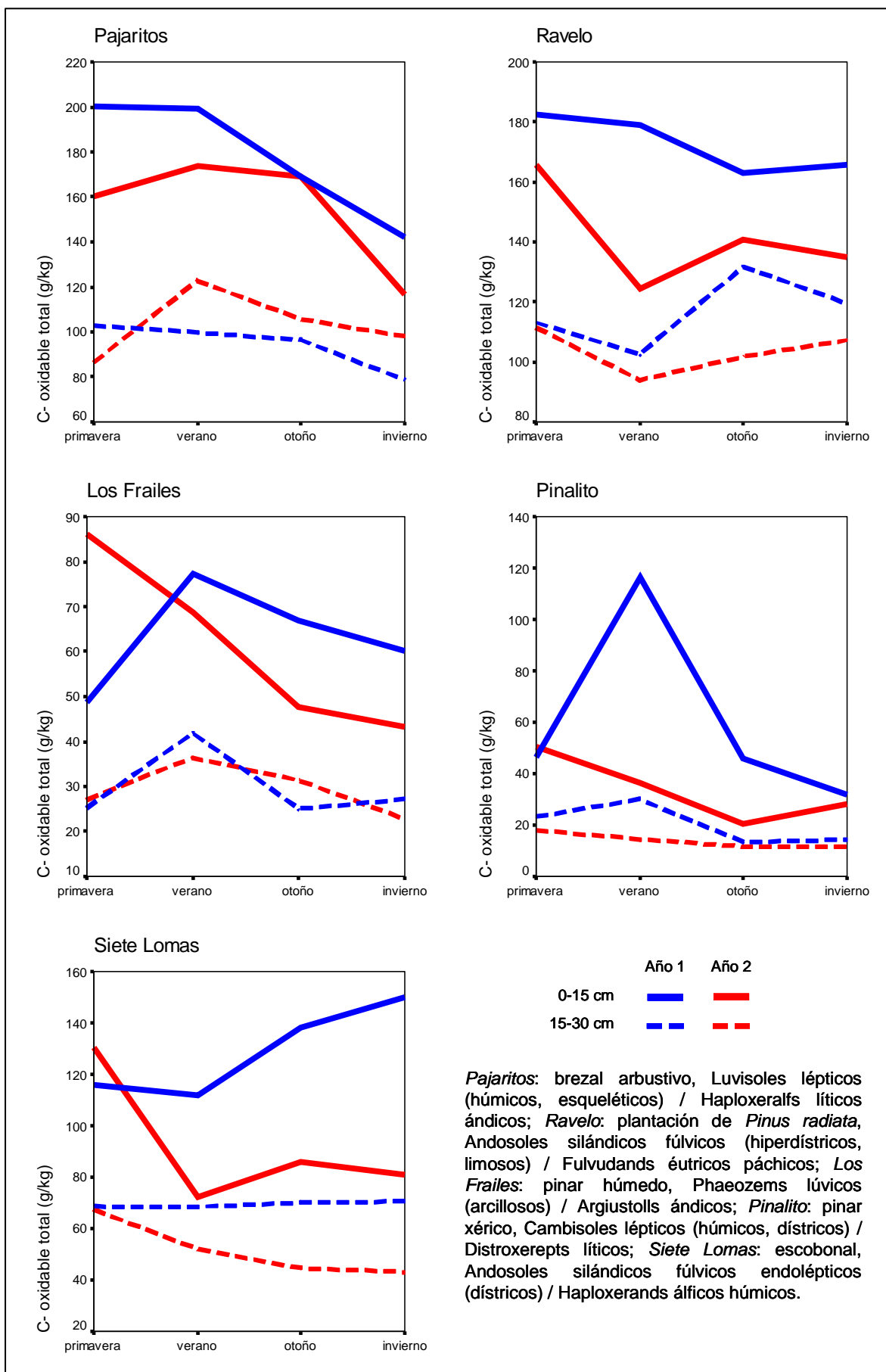


Figura V.16.b. Carbono orgánico oxidable total (g kg^{-1})

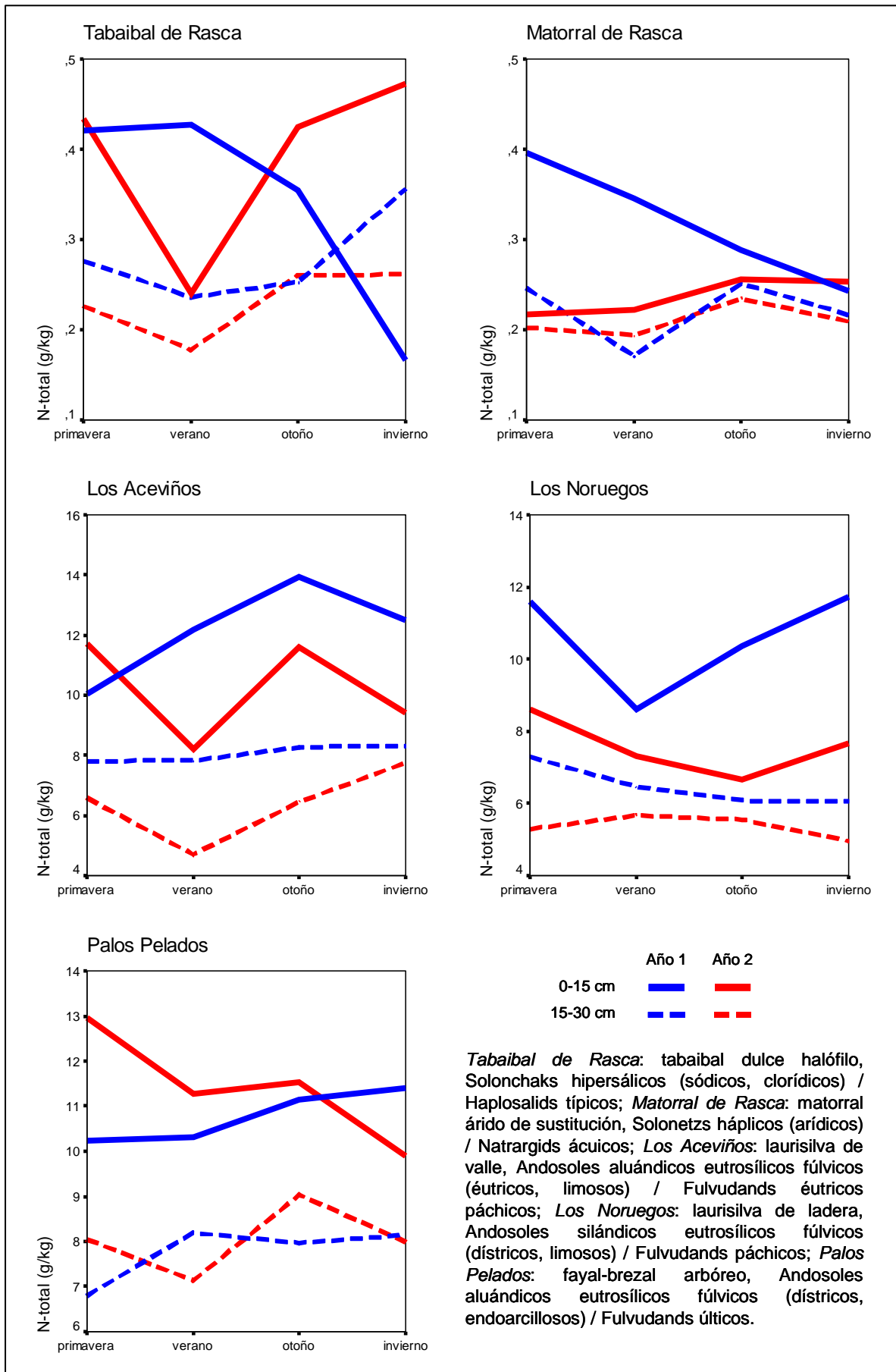


Figura V.17.a. Nitrógeno total (g kg^{-1})

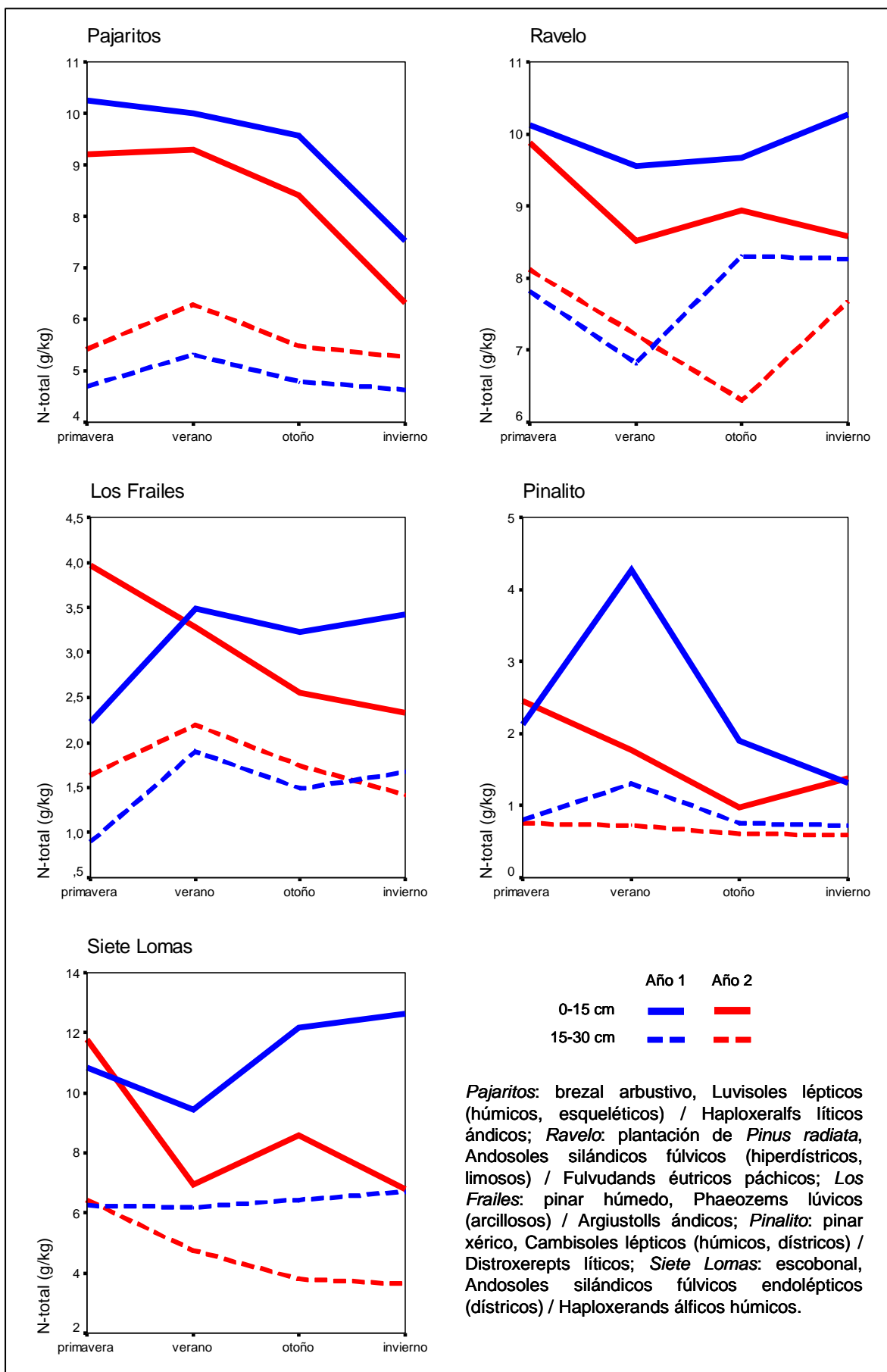


Figura V.17.b. Nitrógeno total (g kg^{-1})

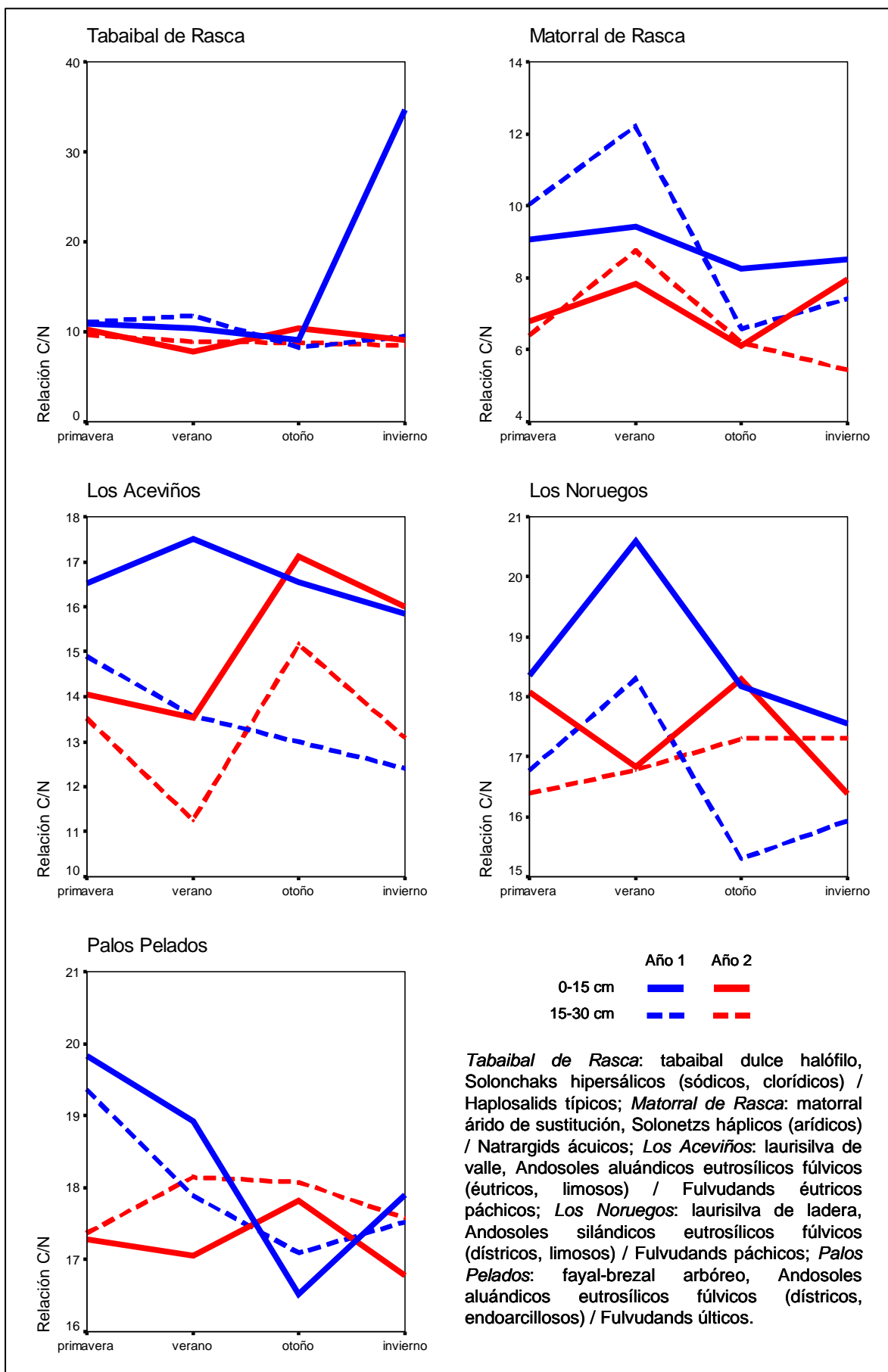


Figura V.18.a. Relación C/N del suelo

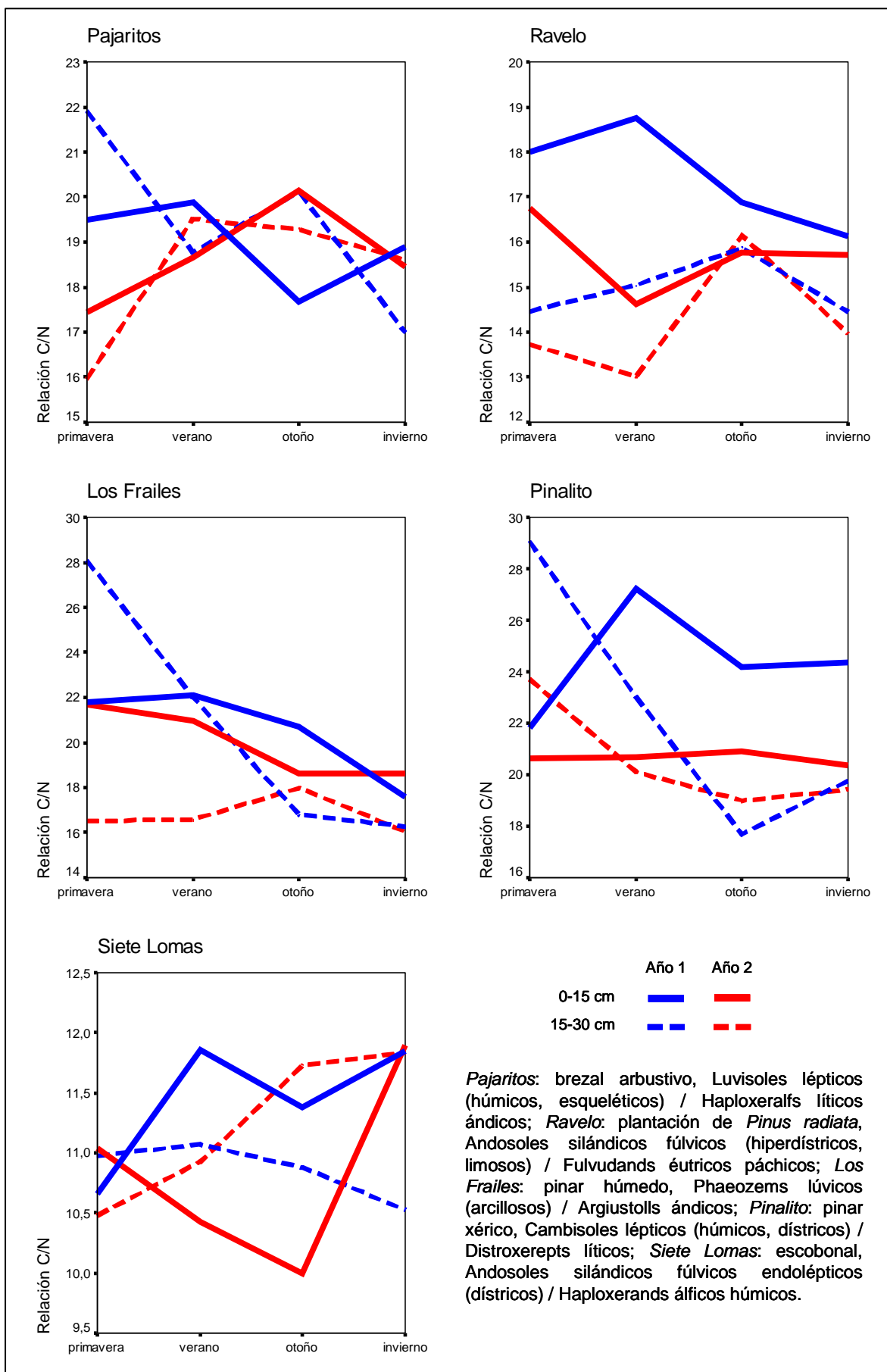


Figura V.18.b. Relación C/N del suelo

V.4.2. Carbono en formas complejadas

El carbono extraído con pirofosfato sódico incluye formas complejadas de carbono, especialmente sustancias húmicas ligadas a las partículas más finas del suelo, considerándose por ello como una de las fracciones más pasivas o recalcitrantes del suelo (Hayes & Clapp, 2001; von Lützow *et al.*, 2007).

i) ZONA COSTERA

La determinación del contenido de carbono extraído con una solución de pirofosfato sódico 0,1M, dio como resultado valores de cero o indistintos de cero en todas las muestras de suelos de la zona costera. En base a este resultado, consideramos el carbono complejado con la fracción mineral como muy escaso, por lo que desechamos su estudio en los suelos de este ecosistema.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

El mayor contenido de carbono complejado entre los suelos de la zona montana húmeda se da en la parcela *Palos Pelados*, mucho mayor que en *Ravelo*, *Los Noruegos*, *Pajaritos* y *Los Aceviños*, correspondiendo a esta última el contenido más bajo (Tabla V.44; Figura V.19). Es más abundante en los primeros 15 cm del suelo, y no muestra diferencias estacionales en ninguno de los casos. Sólo se observa una variación interanual significativa en el suelo de *Palos Pelados*, donde el contenido de carbono complejado aumenta entre el primer y el segundo año del estudio, aunque se percibe cierta tendencia a su descenso en *Los Noruegos*, y a su ascenso en profundidad (15-30 cm) junto a un ligero descenso en superficie (0-15 cm) en *Pajaritos*.

Las Tablas V.45-V.46 y Figuras V.20-V.21 detallan los contenidos de metales (hierro y aluminio) integrantes de formas complejadas con el carbono orgánico. Ambos metales son más abundantes en profundidad (15-30 cm), y sus contenidos no siguen un patrón estacional, a excepción del hierro en *Los Noruegos* (mayor en otoño) y el aluminio en *Los Aceviños* (mayor en invierno y menor en otoño). La comparación de los dos años de muestreo revela un descenso de los contenidos de hierro y aluminio complejados, salvo en los suelos de *Ravelo*, donde apenas se percibe, y de *Pajaritos*, donde la reducción en superficie se acompaña de un aumento en profundidad, al igual que ocurre con el carbono total (ver Sección V.4.1) y el carbono complejado.

El índice $(Fe_p+Al_p)/C_p$, considerado como un estimador del grado de complejación del carbono orgánico (Mizota & Reeuwijk, 1989), se incrementa con la profundidad en todos los casos, y discrimina los suelos de *Palos Pelados*, *Los Aceviños* y *Ravelo*, más complejados, de los de *Los Noruegos* y *Pajaritos* (Tabla V.47; Figura V.22). No se detectaron diferencias estacionales pero sí interanuales, con un descenso en el segundo año de seguimiento en los suelos de *Palos Pelados* y una tendencia general a disminuir en el resto.

| Tabla V.44. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 51,2 ± 2,23 | 58,6 ± 1,82 | 75,5 ± 1,71 | 55,0 ± 2,18 | 64,4 ± 1,06 | 61,0 ± 1,57 |
| 15-30 cm | 43,8 ± 2,80 | 50,5 ± 2,52 | 67,2 ± 2,05 | 45,7 ± 2,73 | 51,2 ± 1,26 | 51,7 ± 1,65 |
| F _{gl=1} | 4,72 | 14,71 | 23,3 | 17,6 | 39,589 | 79,2 |
| Significación | 0,118 | 0,031 | 0,017 | 0,025 | 0,008 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 49,8 ± 4,76 a | 57,3 ± 6,05 a | 68,1 ± 3,37 a | 47,7 ± 3,75 a | 59,1 ± 5,07 a | 56,4 ± 2,50 a |
| Verano | 40,0 ± 4,28 a | 55,6 ± 2,31 a | 70,5 ± 3,09 a | 56,2 ± 6,19 a | 56,7 ± 4,78 a | 55,8 ± 2,81 a |
| Otoño | 50,3 ± 2,75 a | 51,4 ± 1,89 a | 72,8 ± 4,07 a | 51,2 ± 2,86 a | 57,1 ± 3,42 a | 56,6 ± 2,30 a |
| Invierno | 49,9 ± 2,13 a | 53,7 ± 3,85 a | 73,9 ± 3,46 a | 46,5 ± 2,50 a | 58,4 ± 3,01 a | 56,5 ± 2,51 a |
| F _{gl=3} | 2,15 | 0,95 | 2,28 | 4,94 | 0,29 | 0,11 |
| Significación | 0,273 | 0,516 | 0,258 | 0,111 | 0,832 | 0,954 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 48,9 ± 1,69 | 57,7 ± 2,67 | 67,7 ± 1,72 | 47,5 ± 3,42 | 59,0 ± 2,95 | 56,1 ± 1,61 |
| 2 | 46,1 ± 3,67 | 51,3 ± 2,08 | 75,0 ± 2,29 | 53,2 ± 2,09 | 56,7 ± 2,46 | 56,5 ± 1,92 |
| F _{gl=1} | 0,62 | 7,96 | 18,3 | 5,68 | 1,15 | 0,11 |
| Significación | 0,489 | 0,067 | 0,024 | 0,097 | 0,362 | 0,742 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 47,5 ± 1,98 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 54,5 ± 1,83 bc |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 71,3 ± 1,67 d |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 50,4 ± 2,07 ab |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 57,8 ± 1,88 c |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 63,4 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,54 | 0,25 | 0,52 | 1,73 | 0,62 | 1,56 |
| Significación | 0,687 | 0,860 | 0,699 | 0,332 | 0,647 | 0,213 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,00 | 0,38 | 0,05 | 7,91 | 0,29 | 1,52 |
| Significación | 0,977 | 0,583 | 0,837 | 0,067 | 0,626 | 0,224 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 0,97 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,434 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,18 | 3,92 | 1,40 | 0,26 | 0,48 | 2,48 |
| Significación | 0,447 | 0,146 | 0,395 | 0,850 | 0,720 | 0,074 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 2,69 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,009 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 6,39 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| R ² | 0,850 | 0,928 | 0,948 | 0,945 | 0,938 | 0,905 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.45. Hierro extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 6,68 ± 0,55 | 6,65 ± 1,05 | 13,8 ± 2,59 | 4,36 ± 0,57 | 3,87 ± 0,12 | 7,07 ± 0,79 |
| 15-30 cm | 10,95 ± 2,58 | 8,95 ± 1,66 | 18,3 ± 1,79 | 7,31 ± 1,07 | 4,03 ± 0,16 | 9,91 ± 1,04 |
| F _{gl=1} | 38,8 | 15,4 | 30,0 | 12,62 | 1,69 | 37,7 |
| Significación | 0,008 | 0,029 | 0,012 | 0,038 | 0,284 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 7,53 ± 0,36 a | 5,95 ± 0,60 a | 14,5 ± 2,03 a | 5,38 ± 1,42 a | 4,23 ± 0,26 a | 7,51 ± 0,95 ab |
| Verano | 7,62 ± 0,98 a | 6,81 ± 0,87 a | 15,4 ± 3,09 a | 7,76 ± 2,25 a | 3,76 ± 0,12 a | 8,27 ± 1,14 ab |
| Otoño | 12,86 ± 5,39 a | 12,0 ± 3,15 b | 20,0 ± 5,13 a | 5,52 ± 0,69 a | 3,95 ± 0,25 a | 10,9 ± 1,95 a |
| Invierno | 7,24 ± 1,04 a | 6,44 ± 0,86 a | 14,4 ± 2,48 a | 4,69 ± 0,68 a | 3,85 ± 0,10 a | 7,33 ± 1,00 b |
| F _{gl=3} | 1,81 | 23,3 | 1,68 | 2,59 | 2,74 | 3,22 |
| Significación | 0,319 | 0,014 | 0,340 | 0,228 | 0,215 | 0,032 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 10,8 ± 2,64 | 9,19 ± 1,90 | 20,0 ± 2,46 | 6,37 ± 1,23 | 3,80 ± 0,13 | 10,0 ± 1,20 |
| 2 | 6,82 ± 0,36 | 6,40 ± 0,24 | 12,1 ± 0,90 | 5,31 ± 0,72 | 4,10 ± 0,13 | 6,95 ± 0,50 |
| F _{gl=1} | 16,6 | 22,7 | 44,2 | 1,64 | 6,03 | 5,04 |
| Significación | 0,027 | 0,018 | 0,007 | 0,291 | 0,091 | 0,030 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 8,81 ± 1,39 b |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 7,80 ± 0,99 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 16,1 ± 1,63 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 5,84 ± 0,70 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 3,95 ± 0,10 d |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 76,8 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,69 | 0,53 | 2,71 | 0,49 | 3,41 | 0,99 |
| Significación | 0,339 | 0,695 | 0,217 | 0,713 | 0,170 | 0,409 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,35 | 6,57 | 0,36 | 0,04 | 0,01 | 0,07 |
| Significación | 0,594 | 0,083 | 0,589 | 0,861 | 0,943 | 0,788 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 4,91 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,002 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 7,69 | 18,1 | 4,49 | 5,38 | 3,08 | 8,09 |
| Significación | 0,064 | 0,020 | 0,125 | 0,100 | 0,190 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 1,51 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,158 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,75 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,157 |
| R ² | 0,967 | 0,983 | 0,971 | 0,930 | 0,922 | 0,909 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

| Tabla V.46. Aluminio extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 9,86 ± 0,51 | 10,2 ± 0,42 | 16,7 ± 1,21 | 8,62 ± 0,78 | 18,2 ± 1,01 | 12,7 ± 0,72 |
| 15-30 cm | 13,6 ± 1,13 | 13,2 ± 0,78 | 21,3 ± 1,27 | 11,5 ± 0,57 | 16,3 ± 0,70 | 15,2 ± 0,67 |
| F _{gl=1} | 81,7 | 27,7 | 46,7 | 127,0 | 2,08 | 40,6 |
| Significación | 0,003 | 0,013 | 0,006 | 0,001 | 0,245 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 12,0 ± 1,01 ab | 12,5 ± 1,55 a | 18,9 ± 2,28 a | 9,55 ± 1,45 a | 18,3 ± 0,64 a | 14,2 ± 1,03 ab |
| Verano | 11,0 ± 1,64 bc | 11,7 ± 1,30 a | 17,4 ± 1,87 a | 11,1 ± 1,53 a | 17,2 ± 2,06 a | 13,7 ± 0,96 ab |
| Otoño | 10,7 ± 1,61 c | 11,2 ± 0,92 a | 18,1 ± 1,64 a | 10,1 ± 0,90 a | 15,8 ± 1,18 a | 13,2 ± 0,89 a |
| Invierno | 13,3 ± 2,05 a | 11,5 ± 1,18 a | 21,6 ± 2,54 a | 9,52 ± 1,18 a | 17,8 ± 0,98 a | 14,7 ± 1,21 b |
| F _{gl=3} | 9,70 | 0,69 | 7,78 | 8,36 | 0,75 | 3,08 |
| Significación | 0,047 | 0,617 | 0,063 | 0,057 | 0,593 | 0,037 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 13,2 ± 1,30 | 12,9 ± 0,91 | 21,5 ± 1,29 | 10,0 ± 0,83 | 18,4 ± 0,87 | 15,2 ± 0,80 |
| 2 | 10,3 ± 0,46 | 10,5 ± 0,43 | 16,4 ± 1,02 | 10,1 ± 0,92 | 16,1 ± 0,80 | 12,7 ± 0,57 |
| F _{gl=1} | 35,5 | 15,3 | 58,7 | 0,09 | 3,18 | 42,3 |
| Significación | 0,009 | 0,030 | 0,005 | 0,780 | 0,173 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 11,7 ± 0,77 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 11,7 ± 0,58 a |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 19,0 ± 1,03 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 10,1 ± 0,60 a |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 17,3 ± 0,64 b |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 81,0 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 6,28 | 0,60 | 1,73 | 2,58 | 0,32 | 0,95 |
| Significación | 0,083 | 0,655 | 0,332 | 0,229 | 0,813 | 0,425 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 17,1 | 1,74 | 0,01 | 40,9 | 0,27 | 0,42 |
| Significación | 0,026 | 0,279 | 0,923 | 0,008 | 0,642 | 0,521 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 8,24 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 2,23 | 2,10 | 2,30 | 40,4 | 1,20 | 3,80 |
| Significación | 0,264 | 0,279 | 0,256 | 0,006 | 0,442 | 0,017 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 1,51 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,159 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 4,54 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,004 |
| R ² | 0,984 | 0,948 | 0,979 | 0,991 | 0,804 | 0,921 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

Tabla V.47. Grado de complejación del carbono orgánico del suelo ($(Fe_p+Al_p)/C_p$) (moles kg^{-1}) (media \pm e.t.) en los suelos de la zona montana húmeda

| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,12 \pm 0,01 | 0,10 \pm 0,01 | 0,14 \pm 0,01 | 0,09 \pm 0,01 | 0,14 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,01 |
| 15-30 cm | 0,20 \pm 0,02 | 0,16 \pm 0,01 | 0,20 \pm 0,02 | 0,15 \pm 0,01 | 0,16 \pm 0,01 | 0,17 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 34,2 | 29,4 | 52,0 | 36,1 | 31,2 | 133,3 |
| Significación | 0,010 | 0,012 | 0,005 | 0,009 | 0,01 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,14 \pm 0,02 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,17 \pm 0,03 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,16 \pm 0,02 a | 0,14 \pm 0,01 a |
| Verano | 0,17 \pm 0,03 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,16 \pm 0,03 a | 0,13 \pm 0,04 a | 0,15 \pm 0,01 a | 0,15 \pm 0,01 a |
| Otoño | 0,16 \pm 0,05 a | 0,15 \pm 0,03 a | 0,18 \pm 0,03 a | 0,11 \pm 0,01 a | 0,14 \pm 0,01 a | 0,15 \pm 0,01 a |
| Invierno | 0,15 \pm 0,03 a | 0,13 \pm 0,02 a | 0,18 \pm 0,03 a | 0,11 \pm 0,02 a | 0,15 \pm 0,01 a | 0,14 \pm 0,01 a |
| $F_{gl=3}$ | 0,60 | 1,80 | 0,74 | 0,48 | 4,25 | 0,03 |
| Significación | 0,660 | 0,321 | 0,596 | 0,720 | 0,133 | 0,994 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,17 \pm 0,03 | 0,14 \pm 0,02 | 0,21 \pm 0,02 | 0,13 \pm 0,02 | 0,15 \pm 0,01 | 0,16 \pm 0,01 |
| 2 | 0,14 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,01 | 0,14 \pm 0,01 | 0,11 \pm 0,01 | 0,14 \pm 0,01 | 0,13 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 5,16 | 3,30 | 69,9 | 3,44 | 7,80 | 32,4 |
| Significación | 0,108 | 0,170 | 0,004 | 0,160 | 0,068 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,16 \pm 0,01 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,13 \pm 0,01 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,17 \pm 0,01 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,12 \pm 0,01 b |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,15 \pm 0,01 a |
| $F_{gl=4}$ | - | - | - | - | - | 15,6 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,72 | 0,26 | 2,14 | 0,63 | 3,87 | 0,68 |
| Significación | 0,602 | 0,853 | 0,274 | 0,641 | 0,148 | 0,571 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 3,48 | 1,70 | 0,81 | 0,30 | 0,20 | 1,45 |
| Significación | 0,159 | 0,284 | 0,434 | 0,620 | 0,688 | 0,235 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | - | - | - | - | - | 4,19 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,006 |
| Estación x Año | | | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 2,22 | 3,59 | 2,88 | 6,26 | 13,4 | 8,59 |
| Significación | 0,265 | 0,161 | 0,204 | 0,083 | 0,030 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=12}$ | - | - | - | - | - | 0,75 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,697 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | - | - | - | - | - | 3,53 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,014 |
| R^2 | 0,947 | 0,945 | 0,979 | 0,954 | 0,972 | 0,874 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

iii) ZONA MONTANA SECA

Los contenidos de carbono orgánico, aluminio y hierro en formas complejadas, así como los valores del cociente $(Fe_p+Al_p)/C_p$, indicador del grado de complejación, alcanzan su máximo en

los suelos de *Siete Lomas*, intermedio en *Los Frailes* y mínimo en *Pinalito*, ligados a un carácter ándico cada vez menor (Tablas V.48-V.51; Figuras V.19.b-V.22.b).

El contenido de carbono complejo resultó mayor en los primeros 15 cm, no mostró una dinámica estacional definida y descendió del primer al segundo año. El aluminio complejo no mostró diferencias entre parcelas o profundidades, ni patrones temporales aparentes. El contenido de hierro complejo y el índice $(Fe_p+Al_p)/C_p$ alcanzaron valores más altos a 15-30 cm, siendo mayores en otoño y menores en verano, y experimentaron un aumento de un año a otro del estudio.

| Tabla V.48. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 24,4 ± 1,83 | 18,1 ± 4,46 | 47,6 ± 3,37 | 30,0 ± 3,24 |
| 15-30 cm | 12,5 ± 0,97 | 8,01 ± 0,73 | 30,8 ± 1,54 | 17,1 ± 2,15 |
| F _{gl=1} | 35,0 | 38,9 | 89,375 | 66,5 |
| Significación | 0,010 | 0,008 | 0,003 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 16,6 ± 3,88 a | 13,5 ± 2,93 a | 43,0 ± 5,55 a | 24,4 ± 4,56 a |
| Verano | 23,2 ± 4,24 a | 20,1 ± 9,38 a | 34,3 ± 3,05 a | 25,9 ± 3,72 a |
| Otoño | 17,0 ± 3,57 a | 9,62 ± 2,37 a | 38,8 ± 6,10 a | 21,8 ± 4,36 a |
| Invierno | 16,9 ± 3,26 a | 9,01 ± 1,11 a | 40,8 ± 8,18 a | 22,3 ± 4,88 a |
| F _{gl=3} | 2,28 | 4,87 | 3,631 | 2,13 |
| Significación | 0,258 | 0,113 | 0,159 | 0,124 |
| Año | | | | |
| 1 | 18,8 ± 2,77 | 16,7 ± 4,70 | 42,6 ± 3,88 | 26,0 ± 3,25 |
| 2 | 18,1 ± 2,56 | 9,41 ± 1,35 | 35,8 ± 3,94 | 21,1 ± 2,77 |
| F _{gl=1} | 0,07 | 15,7 | 18,680 | 9,34 |
| Significación | 0,815 | 0,029 | 0,023 | 0,006 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 18,4 ± 1,83 b |
| Pinalito | - | - | - | 13,1 ± 2,54 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 39,2 ± 2,81 c |
| F _{gl=2} | - | - | - | 101,0 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,04 | 0,98 | 2,75 | 0,22 |
| Significación | 0,987 | 0,507 | 0,214 | 0,882 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,00 | 0,01 | 1,26 | 0,44 |
| Significación | 0,965 | 0,947 | 0,344 | 0,515 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,04 |
| Significación | - | - | - | 0,960 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 0,92 | 0,89 | 3,33 | 1,15 |
| Significación | 0,525 | 0,536 | 0,175 | 0,351 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,20 |
| Significación | - | - | - | 0,080 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 2,00 |
| Significación | - | - | - | 0,158 |
| R ² | 0,937 | 0,961 | 0,979 | 0,930 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.49. Hierro extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,84 ± 0,10 | 0,99 ± 0,18 | 2,14 ± 0,31 | 1,32 ± 0,17 |
| 15-30 cm | 0,90 ± 0,13 | 1,02 ± 0,12 | 2,89 ± 0,30 | 1,60 ± 0,22 |
| F _{gl=1} | 10,9 | 0,03 | 75,4 | 2,11 |
| Significación | 0,046 | 0,870 | 0,003 | 0,160 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,85 ± 0,16 ab | 0,88 ± 0,12 a | 2,12 ± 0,31 a | 1,28 ± 0,21 a |
| Verano | 0,61 ± 0,23 a | 1,39 ± 0,35 a | 2,10 ± 0,40 a | 1,36 ± 0,25 a |
| Otoño | 1,03 ± 0,08 b | 0,87 ± 0,09 a | 3,03 ± 0,52 b | 1,64 ± 0,34 a |
| Invierno | 0,98 ± 0,06 ab | 0,91 ± 0,12 a | 2,81 ± 0,55 b | 1,57 ± 0,32 a |
| F _{gl=3} | 15,8 | 2,29 | 30,3 | 1,64 |
| Significación | 0,024 | 0,257 | 0,010 | 0,208 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,65 ± 0,11 | 1,10 ± 0,20 | 1,91 ± 0,20 | 1,22 ± 0,15 |
| 2 | 1,09 ± 0,03 | 0,92 ± 0,07 | 3,12 ± 0,29 | 1,71 ± 0,23 |
| F _{gl=1} | 172,8 | 1,11 | 194,2 | 12,7 |
| Significación | 0,001 | 0,369 | 0,001 | 0,002 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,87 ± 0,08 a |
| Pinalito | - | - | - | 1,01 ± 0,11 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 2,51 ± 0,23 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 47,2 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 3,26 | 0,37 | 6,82 | 0,24 |
| Significación | 0,179 | 0,785 | 0,075 | 0,870 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 7,23 | 0,24 | 0,26 | 0,02 |
| Significación | 0,075 | 0,658 | 0,645 | 0,900 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,89 |
| Significación | - | - | - | 0,424 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 4,74 | 3,88 | 11,4 | 0,12 |
| Significación | 0,117 | 0,148 | 0,038 | 0,946 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,65 |
| Significación | - | - | - | 0,042 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 5,45 |
| Significación | - | - | - | 0,012 |
| R ² | 0,989 | 0,875 | 0,993 | 0,862 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.50. Aluminio extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 2,84 ± 0,23 | 1,47 ± 0,13 | 8,21 ± 0,24 | 4,17 ± 0,62 |
| 15-30 cm | 2,47 ± 0,14 | 1,60 ± 0,07 | 8,16 ± 0,34 | 4,08 ± 0,62 |
| F _{gl=1} | 1,42 | 0,62 | 0,02 | 0,39 |
| Significación | 0,319 | 0,490 | 0,887 | 0,538 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 2,54 ± 0,57 a | 1,72 ± 0,09 a | 8,52 ± 0,40 a | 4,26 ± 0,94 a |
| Verano | 2,94 ± 0,21 a | 1,59 ± 0,16 a | 7,36 ± 0,51 a | 3,96 ± 0,76 a |
| Otoño | 2,62 ± 0,24 a | 1,48 ± 0,18 a | 8,26 ± 0,21 a | 4,12 ± 0,90 a |
| Invierno | 2,51 ± 0,13 a | 1,37 ± 0,13 a | 8,61 ± 0,17 a | 4,16 ± 0,96 a |
| F _{gl=3} | 0,42 | 2,14 | 3,56 | 0,67 |
| Significación | 0,753 | 0,274 | 0,163 | 0,580 |
| Año | | | | |
| 1 | 2,55 ± 0,23 | 1,51 ± 0,11 | 8,32 ± 0,19 | 4,13 ± 0,63 |
| 2 | 2,76 ± 0,22 | 1,57 ± 0,10 | 8,05 ± 0,36 | 4,12 ± 0,60 |
| F _{gl=1} | 0,45 | 0,21 | 0,81 | 0,00 |
| Significación | 0,552 | 0,676 | 0,435 | 0,981 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 2,65 ± 0,16 b |
| Pinalito | - | - | - | 1,54 ± 0,07 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 8,19 ± 0,20 c |
| F _{gl=2} | - | - | - | 746,1 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,37 | 3,38 | 1,33 | 0,84 |
| Significación | 0,784 | 0,172 | 0,411 | 0,487 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,16 | 8,08 | 0,01 | 0,76 |
| Significación | 0,720 | 0,066 | 0,922 | 0,392 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,94 |
| Significación | - | - | - | 0,405 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 2,62 | 1,84 | 2,78 | 4,88 |
| Significación | 0,225 | 0,314 | 0,212 | 0,009 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,52 |
| Significación | - | - | - | 0,051 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,88 |
| Significación | - | - | - | 0,429 |
| R ² | 0,803 | 0,912 | 0,888 | 0,985 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.51. Grado de complejación del carbono orgánico del suelo ($(Fe_p+Al_p)/C_p$) (moles kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,06 \pm 0,00 | 0,06 \pm 0,01 | 0,09 \pm 0,01 | 0,07 \pm 0,00 |
| 15-30 cm | 0,11 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,01 | 0,14 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 257,3 | 68,2 | 60,7 | 132,9 |
| Significación | 0,001 | 0,004 | 0,004 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,09 \pm 0,02 ab | 0,08 \pm 0,02 a | 0,11 \pm 0,02 a | 0,09 \pm 0,01 ab |
| Verano | 0,07 \pm 0,01 a | 0,08 \pm 0,02 a | 0,11 \pm 0,01 a | 0,09 \pm 0,01 a |
| Otoño | 0,09 \pm 0,02 b | 0,11 \pm 0,03 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,11 \pm 0,01 b |
| Invierno | 0,09 \pm 0,01 b | 0,10 \pm 0,02 a | 0,12 \pm 0,03 a | 0,10 \pm 0,01 ab |
| $F_{gl=3}$ | 12,9 | 2,70 | 1,84 | 4,28 |
| Significación | 0,032 | 0,218 | 0,314 | 0,015 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,08 \pm 0,01 | 0,07 \pm 0,01 | 0,10 \pm 0,01 | 0,08 \pm 0,01 |
| 2 | 0,09 \pm 0,01 | 0,11 \pm 0,02 | 0,13 \pm 0,02 | 0,11 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 23,8 | 22,8 | 16,2 | 29,9 |
| Significación | 0,017 | 0,017 | 0,028 | 0,000 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,08 \pm 0,01 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,09 \pm 0,01 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,12 \pm 0,01 b |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 16,7 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 3,35 | 1,23 | 4,12 | 0,99 |
| Significación | 0,174 | 0,436 | 0,138 | 0,416 |
| Profundidad x Año | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 1,95 | 1,33 | 2,09 | 2,39 |
| Significación | 0,257 | 0,333 | 0,244 | 0,136 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 2,16 |
| Significación | - | - | - | 0,138 |
| Estación x Año | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 10,1 | 0,84 | 2,42 | 0,69 |
| Significación | 0,045 | 0,556 | 0,244 | 0,570 |
| Estación x Parcela | | | | |
| $F_{gl=6}$ | - | - | - | 0,58 |
| Significación | - | - | - | 0,746 |
| Año x Parcela | | | | |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 2,30 |
| Significación | - | - | - | 0,123 |
| R^2 | 0,992 | 0,973 | 0,972 | 0,909 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

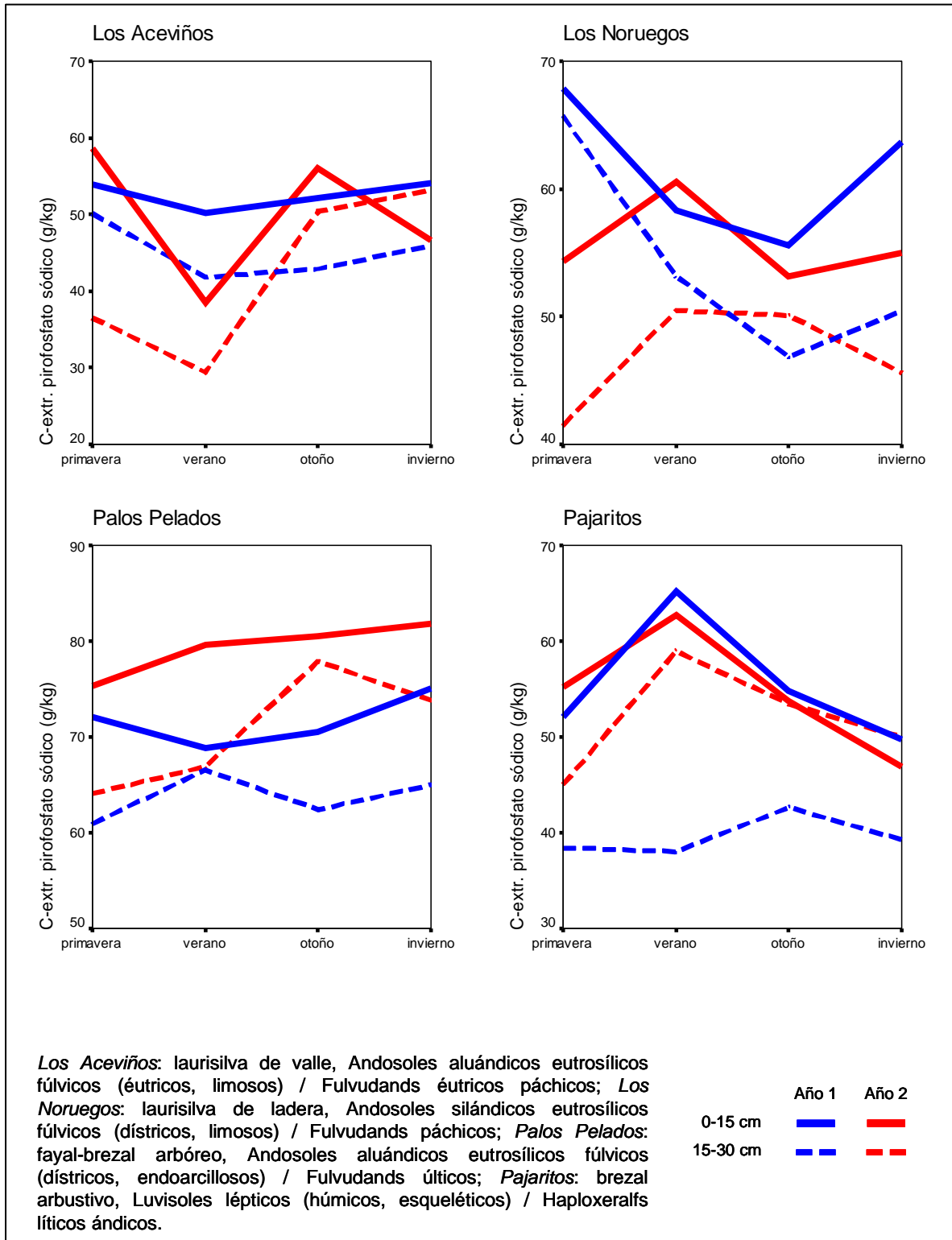


Figura V.19.a. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1 M (g kg^{-1})

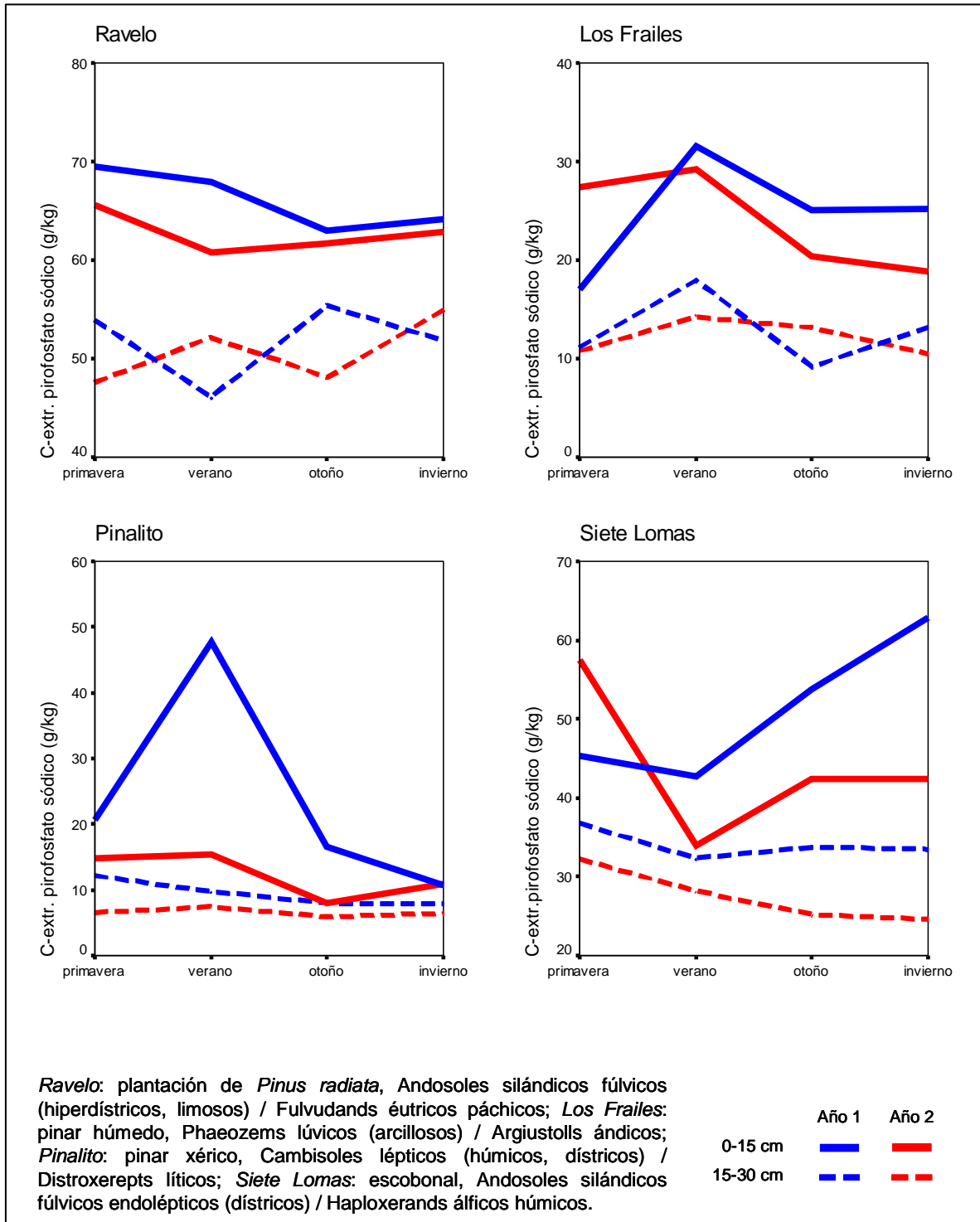


Figura V.19.b. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1 M (g kg^{-1})

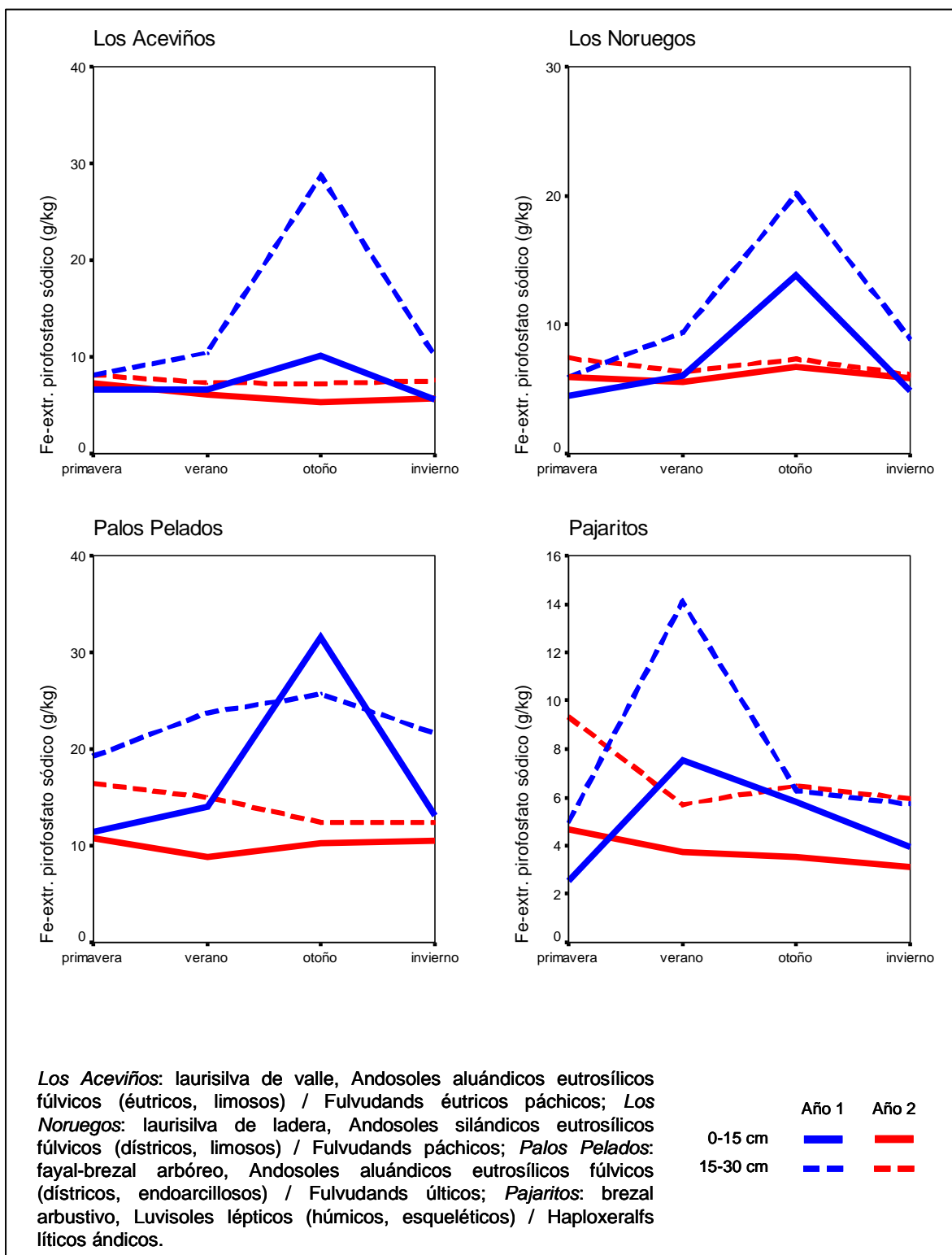


Figura V.20.a. Hierro extraído con pirofosfato sódico 0,1 M (g kg^{-1})

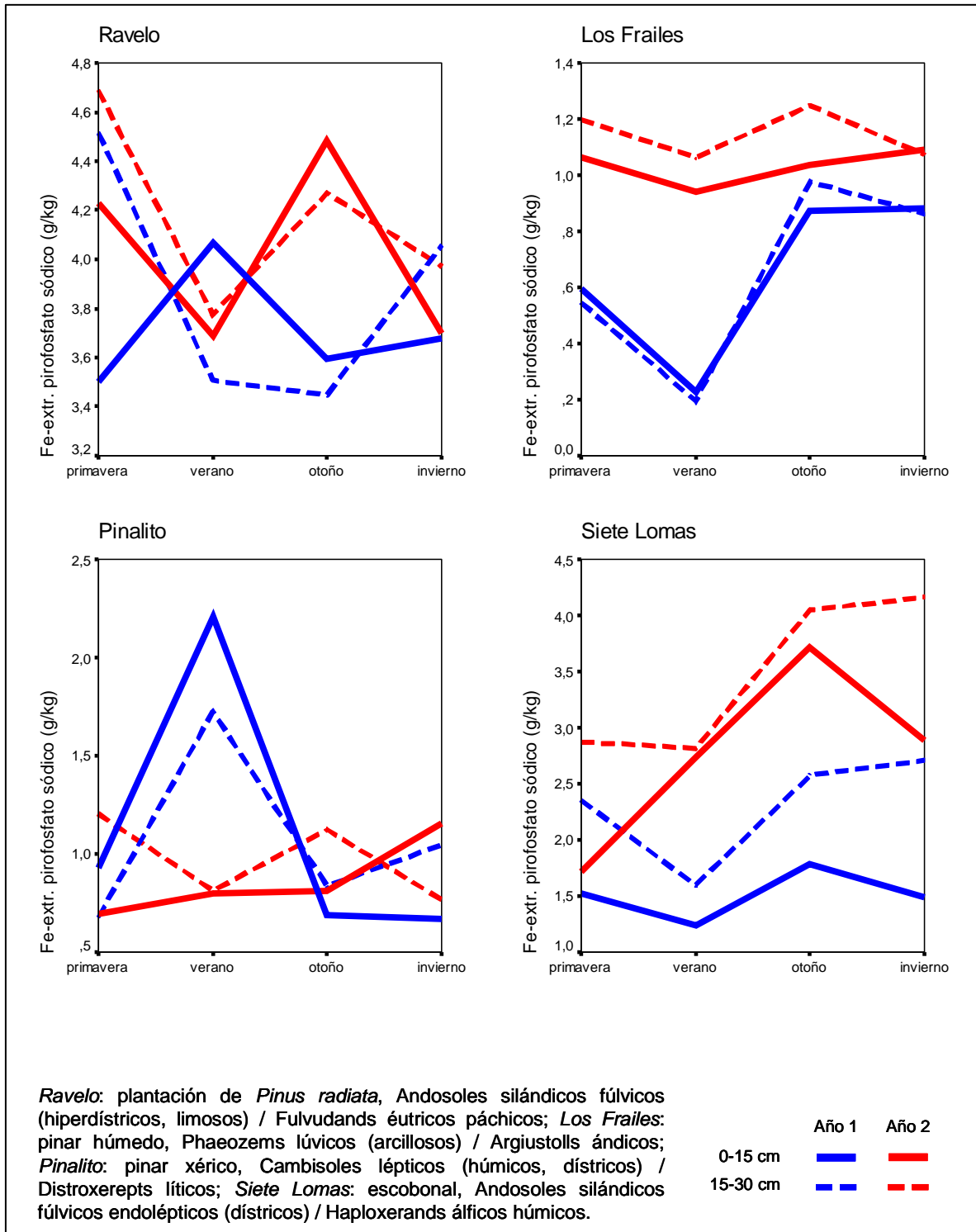


Figura V.20.b. Hierro extraído con pirofosfato sódico (g kg^{-1})

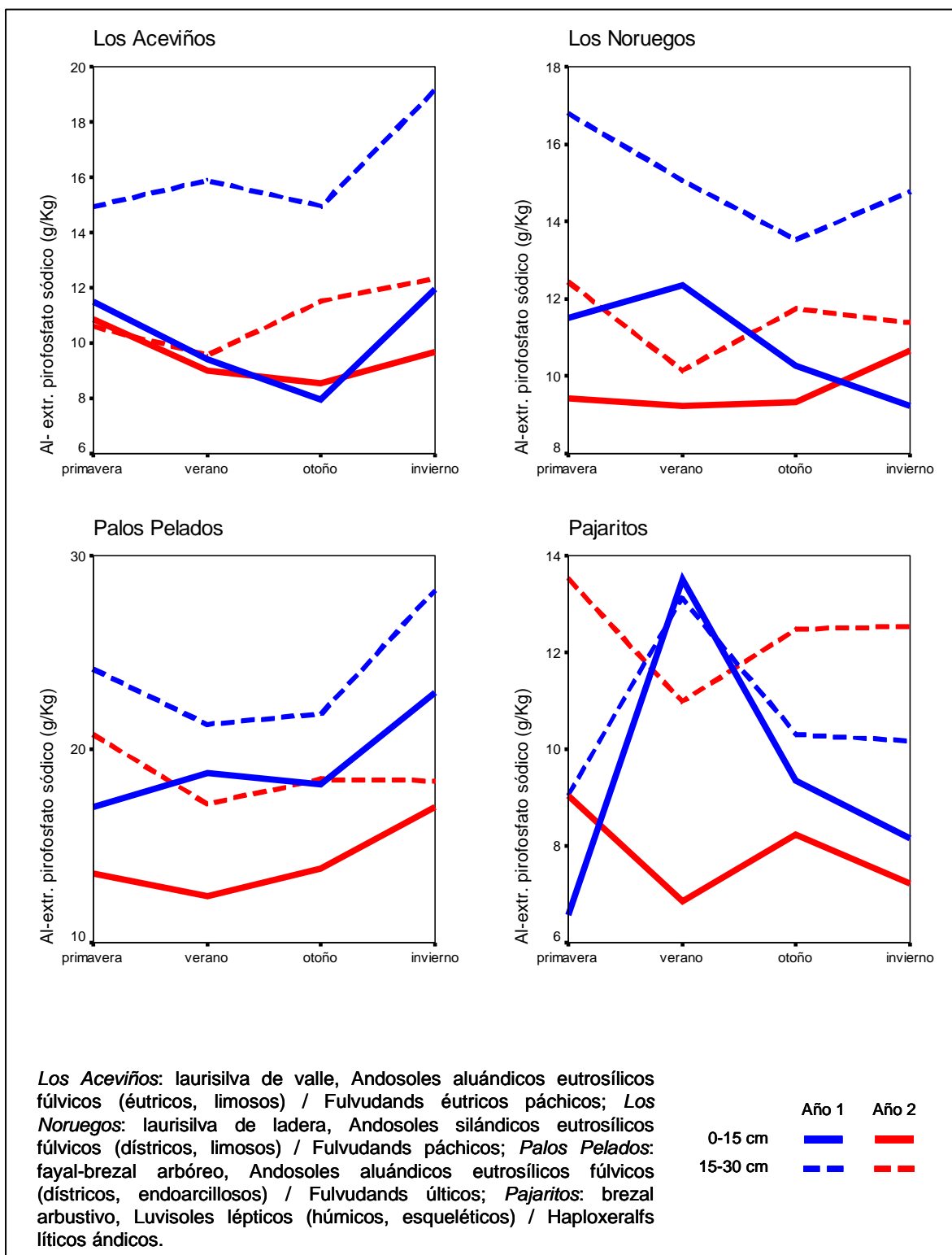


Figura V.21.a. Aluminio extraído con pirofosfato sódico (g kg^{-1})

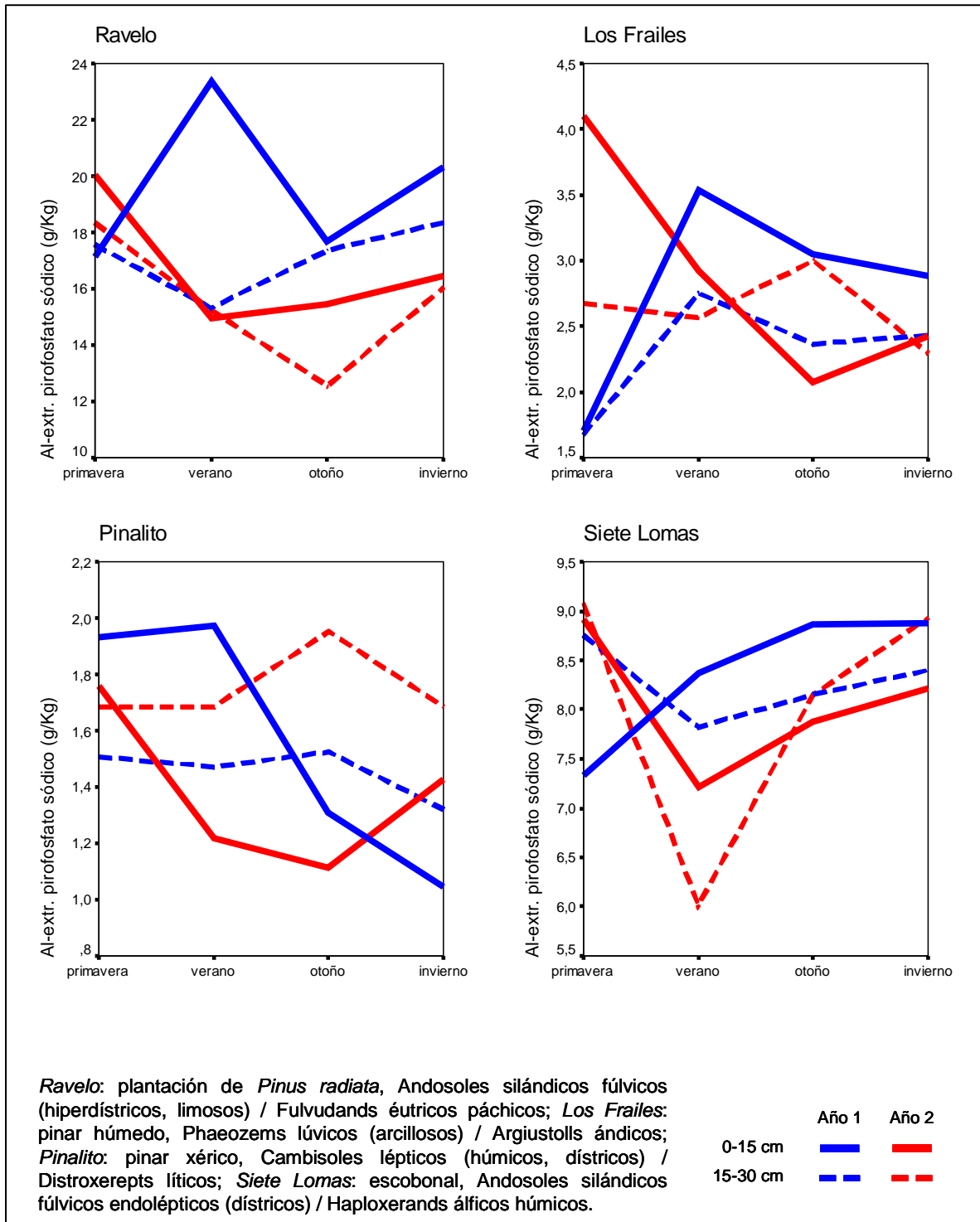


Figura V.21.b. Aluminio extraído con pirofosfato sódico (g kg^{-1})

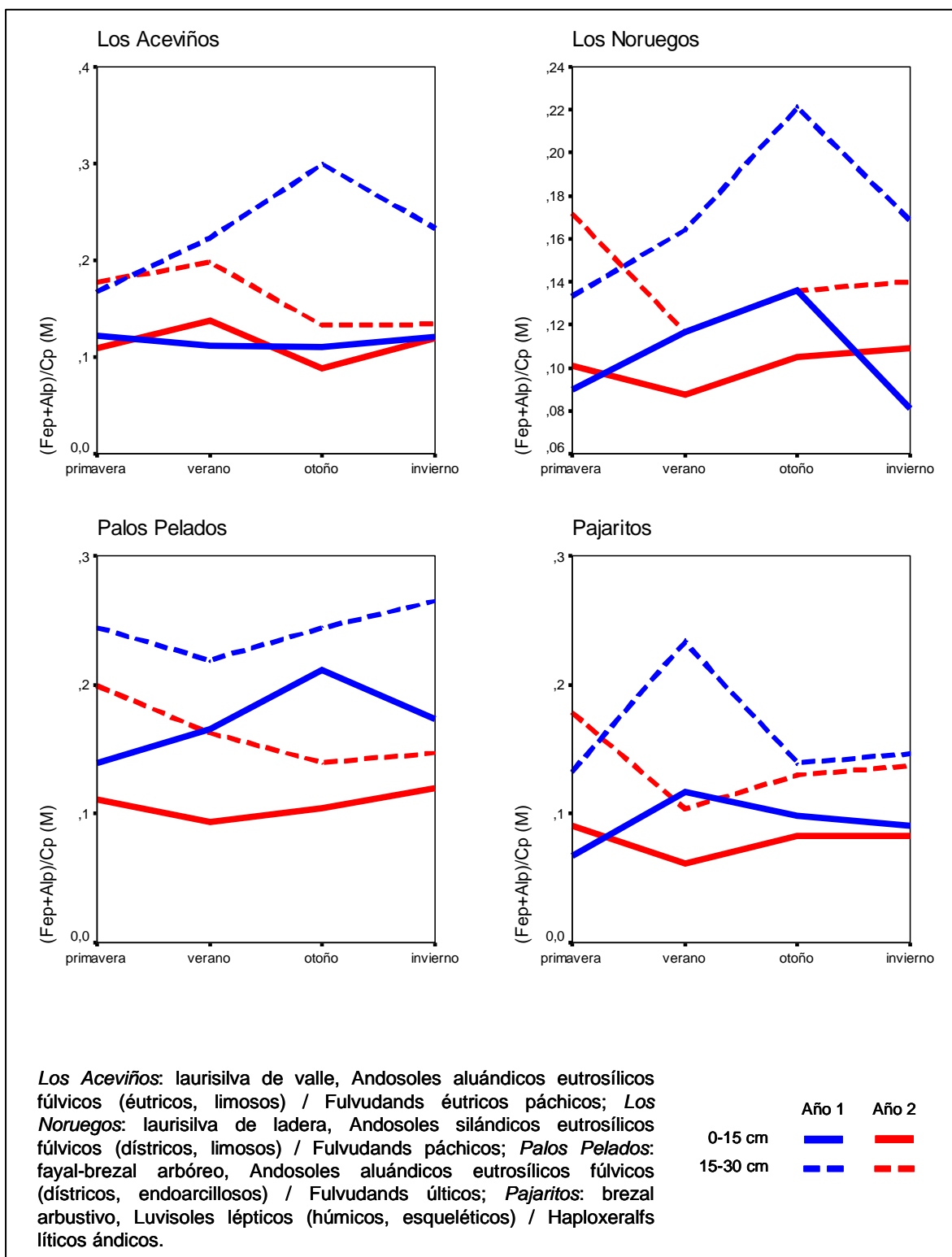


Figura V.22.a. Grado de complejación del carbono del suelo $(Fe_p + Al_p)/C_p$ (moles kg^{-1})

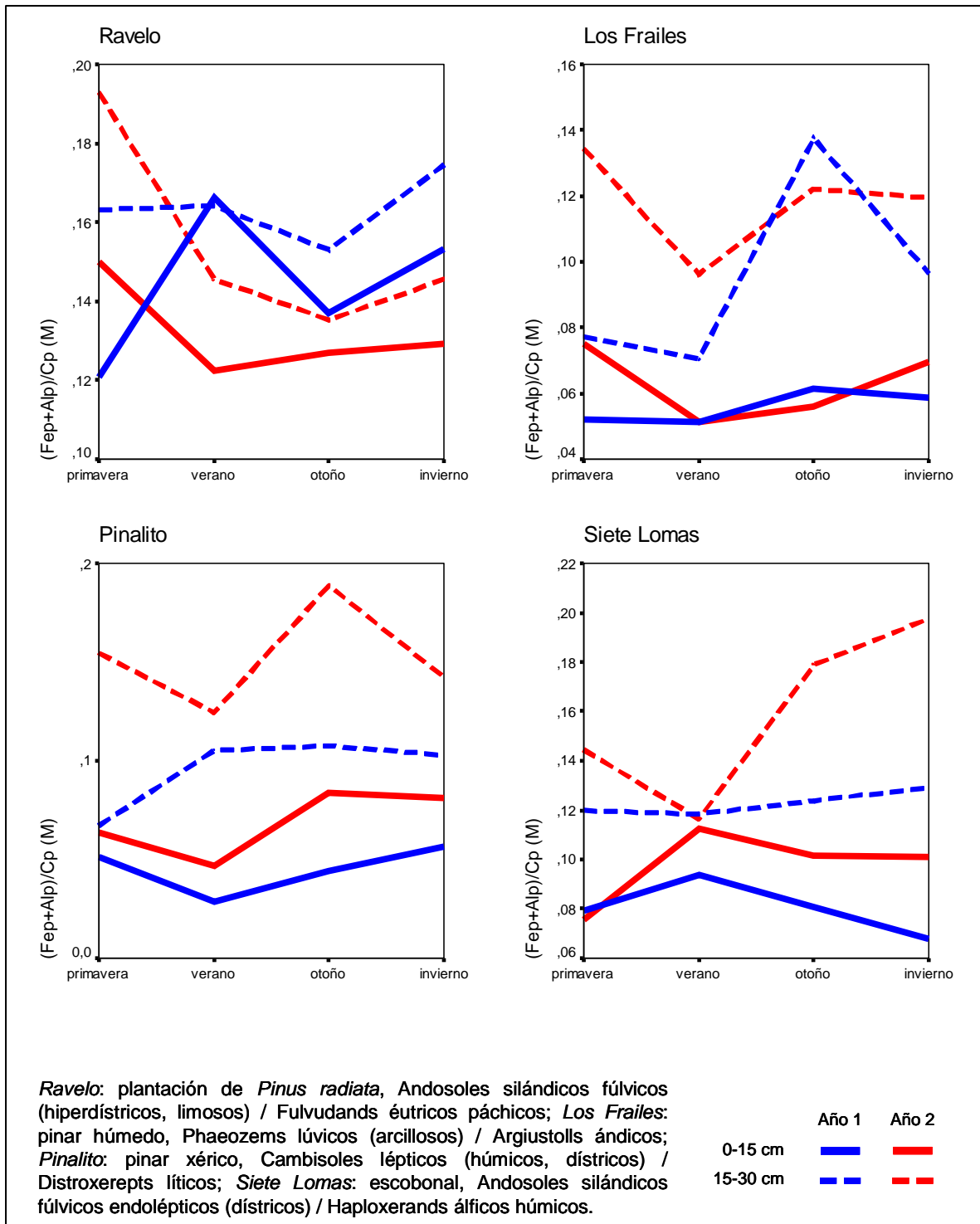


Figura V.22.b. Grado de complejación del carbono del suelo $(Fe_p + Al_p)/C_p$ (moles kg^{-1})

V.4.3. Carbono ligado a la biomasa microbiana

La biomasa microbiana es el regulador principal de las transformaciones de la materia orgánica del suelo, con una tasa de ciclado baja (1-5 años) (Jenkinson & Rayner, 1977; Jenkinson & Ladd, 1981; Jenkinson & Parry, 1989; Ladd *et al.*, 1981; McGill *et al.*, 1986; von Lützw &

Ottow, 1994; Wardle, 1992), y se le considera como el componente principal del acervo de carbono activo del suelo (von Lützow *et al.*, 2007).

i) ZONA COSTERA

En los suelos de este ecosistema el contenido de carbono ligado a la biomasa microbiana es ligeramente superior en *Tabaibal de Rasca*, y en los primeros 15 cm de espesor (Tabla V.52; Figura V.24.a). Estacionalmente, los valores más altos se dieron en los meses de invierno de ambos años coincidiendo con el mayor contenido de humedad del suelo, mientras que los más bajos se dieron al final del período de sequía estival, en los muestreos de verano del primer año y otoño del segundo (ver Sección V.3.1.i). Por último, se detectó un descenso significativo del carbono ligado a la biomasa microbiana de un año a otro de seguimiento.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

El carbono ligado a la biomasa microbiana alcanza sus mayores contenidos en los suelos de *Palos Pelados*, intermedios en *Pajaritos* y *Los Aceviños* y menores en *Los Noruegos* y *Ravelo*, y es mayor en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm) (Tabla V.53; Figura V.24).

Estacionalmente, el carbono muestra patrones muy diferentes según la parcela y el año de muestreo. Así, en los suelos de las parcelas con mayor fitomasa (*Los Aceviños*, *Los Noruegos* y *Ravelo*) se observa una estacionalidad regular, con valores máximos en primavera y otoño y mínimos en verano e invierno, correlacionada con los aumentos y descensos de la humedad del suelo ($r=0,527$, $p=0,008$; Figura V.23) (ver datos de humedad en la Sección V.3.1.ii). En los casos de *Palos Pelados* y *Pajaritos* la biomasa microbiana alcanza su valor máximo en verano u otoño. En el segundo año de muestreo se detectó un incremento significativo en el contenido de C-biomasa, excepto en el caso de *Los Noruegos*, en donde apenas varía.

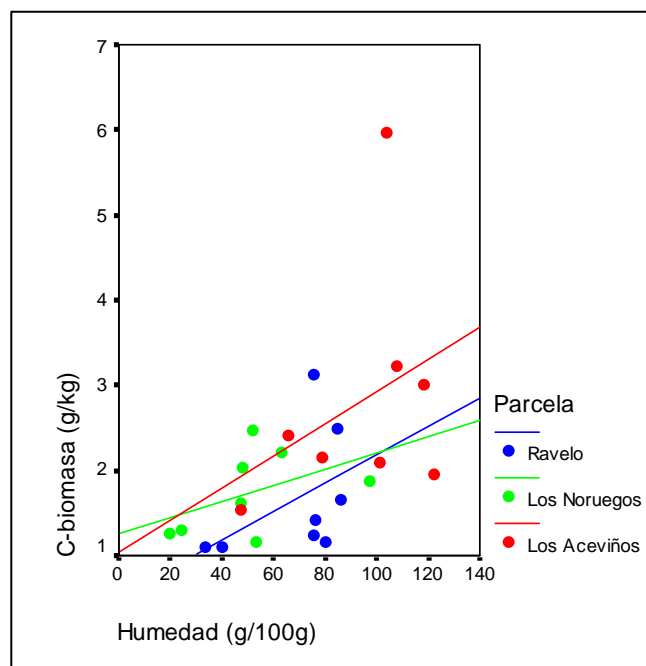


Figura V.23. Correlación entre la humedad del suelo y el C ligado a la biomasa microbiana en algunos suelos de la zona montana húmeda

iii) ZONA MONTANA SECA

En los suelos de este ecosistema el contenido de carbono ligado a la biomasa microbiana es muy superior en los primeros 15 cm respecto a 15-30 cm (Tabla V.54; Figura V.24.b). Apenas se encontraron diferencias entre los suelos estudiados, siendo ligeramente mayor en los suelos de *Los Frailes* respecto a los de *Pinalito*. Sólo los suelos de *Siete Lomas* mostraron un comportamiento estacional definido, con mínimos en verano especialmente en superficie (0-15 cm), y diferencias interanuales, con más cantidad de C-biomasa en el segundo año de muestreo.

| Tabla V.52. Carbono ligado a la biomasa microbiana (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,18 \pm 0,05 | 0,15 \pm 0,03 | 0,17 \pm 0,03 |
| 15-30 cm | 0,14 \pm 0,04 | 0,11 \pm 0,03 | 0,13 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 5,05 | 2,41 | 6,32 |
| Significación | 0,110 | 0,218 | 0,026 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,16 \pm 0,03 a | 0,12 \pm 0,03 a | 0,14 \pm 0,02 a |
| Verano | 0,10 \pm 0,02 a | 0,11 \pm 0,03 a | 0,10 \pm 0,02 a |
| Otoño | 0,10 \pm 0,06 a | 0,11 \pm 0,06 a | 0,10 \pm 0,04 a |
| Invierno | 0,29 \pm 0,08 b | 0,19 \pm 0,06 a | 0,24 \pm 0,05 b |
| F _{gl=3} | 24,7 | 2,32 | 15,83 |
| Significación | 0,013 | 0,254 | 0,000 |
| Año | | | |
| 1 | 0,23 \pm 0,04 | 0,20 \pm 0,03 | 0,21 \pm 0,03 |
| 2 | 0,09 \pm 0,03 | 0,07 \pm 0,02 | 0,08 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | 61,9 | 23,5 | 69,1 |
| Significación | 0,004 | 0,017 | 0,000 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,16 \pm 0,03 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,13 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | - | - | 3,30 |
| Significación | - | - | 0,092 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 1,737 | 0,616 | 1,10 |
| Significación | 0,331 | 0,650 | 0,383 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,32 | 0,27 | 0,01 |
| Significación | 0,613 | 0,640 | 0,909 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,00 |
| Significación | - | - | 0,970 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 11,6 | 2,05 | 8,37 |
| Significación | 0,037 | 0,286 | 0,002 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 2,27 |
| Significación | - | - | 0,130 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,12 |
| Significación | - | - | 0,733 |
| R ² | 0,984 | 0,932 | 0,926 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | |

| Tabla V.53. Carbono ligado a la biomasa microbiana (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 2,80 ± 0,49 | 1,74 ± 0,17 | 2,85 ± 0,29 | 2,30 ± 0,20 | 1,66 ± 0,27 | 2,27 ± 0,15 |
| 15-30 cm | 1,48 ± 0,28 | 1,27 ± 0,12 | 1,77 ± 0,24 | 1,47 ± 0,20 | 1,38 ± 0,23 | 1,47 ± 0,10 |
| F _{gl=1} | 14,0 | 11,9 | 55,2 | 21,5 | 2,24 | 43,9 |
| Significación | 0,033 | 0,041 | 0,005 | 0,019 | 0,231 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 2,12 ± 0,40 a | 1,76 ± 0,14 a | 1,90 ± 0,35 a | 1,72 ± 0,41 a | 1,71 ± 0,37 a | 1,84 ± 0,14 ab |
| Verano | 1,41 ± 0,45 a | 1,22 ± 0,16 a | 2,42 ± 0,44 a | 2,48 ± 0,36 a | 0,93 ± 0,10 a | 1,69 ± 0,20 a |
| Otoño | 3,04 ± 1,05 a | 1,86 ± 0,30 a | 2,82 ± 0,65 a | 1,64 ± 0,23 a | 2,06 ± 0,39 a | 2,28 ± 0,27 b |
| Invierno | 1,97 ± 0,39 a | 1,19 ± 0,16 a | 2,10 ± 0,39 a | 1,70 ± 0,30 a | 1,38 ± 0,28 a | 1,67 ± 0,15 a |
| F _{gl=3} | 3,56 | 6,67 | 5,61 | 5,04 | 5,02 | 5,12 |
| Significación | 0,162 | 0,077 | 0,095 | 0,108 | 0,109 | 0,004 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 1,86 ± 0,23 | 1,53 ± 0,13 | 1,90 ± 0,20 | 1,69 ± 0,24 | 1,14 ± 0,12 | 1,62 ± 0,09 |
| 2 | 2,41 ± 0,61 | 1,48 ± 0,21 | 2,71 ± 0,38 | 2,08 ± 0,24 | 1,90 ± 0,28 | 2,12 ± 0,17 |
| F _{gl=1} | 0,01 | 0,39 | 22,5 | 4,92 | 10,4 | 8,13 |
| Significación | 0,924 | 0,579 | 0,018 | 0,113 | 0,049 | 0,007 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 2,14 ± 0,32 ab |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 1,51 ± 0,12 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 2,31 ± 0,23 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 1,88 ± 0,17 ab |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 1,52 ± 0,18 b |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 5,79 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,001 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,61 | 1,32 | 1,29 | 0,76 | 0,26 | 0,22 |
| Significación | 0,651 | 0,414 | 0,42 | 0,586 | 0,848 | 0,882 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,66 | 0,22 | 2,14 | 1,85 | 1,19 | 0,01 |
| Significación | 0,477 | 0,669 | 0,24 | 0,267 | 0,356 | 0,932 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,68 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,172 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 5,38 | 2,20 | 7,79 | 2,84 | 0,93 | 5,81 |
| Significación | 0,100 | 0,267 | 0,063 | 0,207 | 0,524 | 0,002 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 2,75 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,007 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 2,19 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,086 |
| R ² | 0,935 | 0,950 | 0,976 | 0,948 | 0,915 | 0,785 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

| Tabla V.54. Carbono ligado a la biomasa microbiana (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,98 \pm 0,08 | 1,10 \pm 0,20 | 1,03 \pm 0,13 | 1,03 \pm 0,08 |
| 15-30 cm | 0,65 \pm 0,07 | 0,39 \pm 0,03 | 0,57 \pm 0,06 | 0,54 \pm 0,04 |
| F _{gl=1} | 44,8 | 49,493 | 74,7 | 101,4 |
| Significación | 0,007 | 0,006 | 0,003 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,88 \pm 0,23 a | 0,83 \pm 0,24 a | 0,84 \pm 0,23 ab | 0,85 \pm 0,12 a |
| Verano | 0,75 \pm 0,13 a | 1,00 \pm 0,46 a | 0,54 \pm 0,02 a | 0,76 \pm 0,16 a |
| Otoño | 0,81 \pm 0,13 a | 0,62 \pm 0,15 a | 0,92 \pm 0,24 b | 0,78 \pm 0,10 a |
| Invierno | 0,82 \pm 0,07 a | 0,54 \pm 0,10 a | 0,89 \pm 0,15 ab | 0,75 \pm 0,07 a |
| F _{gl=3} | 1,18 | 1,24 | 11,1 | 0,82 |
| Significación | 0,446 | 0,433 | 0,039 | 0,498 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,70 \pm 0,07 | 0,80 \pm 0,23 | 0,80 \pm 0,12 | 0,77 \pm 0,09 |
| 2 | 0,93 \pm 0,10 | 0,69 \pm 0,14 | 0,79 \pm 0,14 | 0,80 \pm 0,07 |
| F _{gl=1} | 21,5 | 0,24 | 0,027 | 0,630 |
| Significación | 0,019 | 0,659 | 0,880 | 0,436 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,81 \pm 0,07 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,75 \pm 0,13 b |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,80 \pm 0,09 ab |
| F _{gl=2} | - | - | - | 3,86 |
| Significación | - | - | - | 0,036 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 1,70 | 0,28 | 7,25 | 0,80 |
| Significación | 0,336 | 0,837 | 0,069 | 0,509 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,529 | 0,04 | 3,12 | 0,23 |
| Significación | 0,520 | 0,853 | 0,176 | 0,639 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | 11,5 | 2,81 | 13,3 | 6,18 |
| Significación | 0,037 | 0,209 | 0,031 | 0,007 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | - | - | - | 10,5 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,89 |
| Significación | - | - | - | 0,030 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 3,08 |
| Significación | - | - | - | 0,065 |
| R ² | 0,973 | 0,954 | 0,983 | 0,888 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

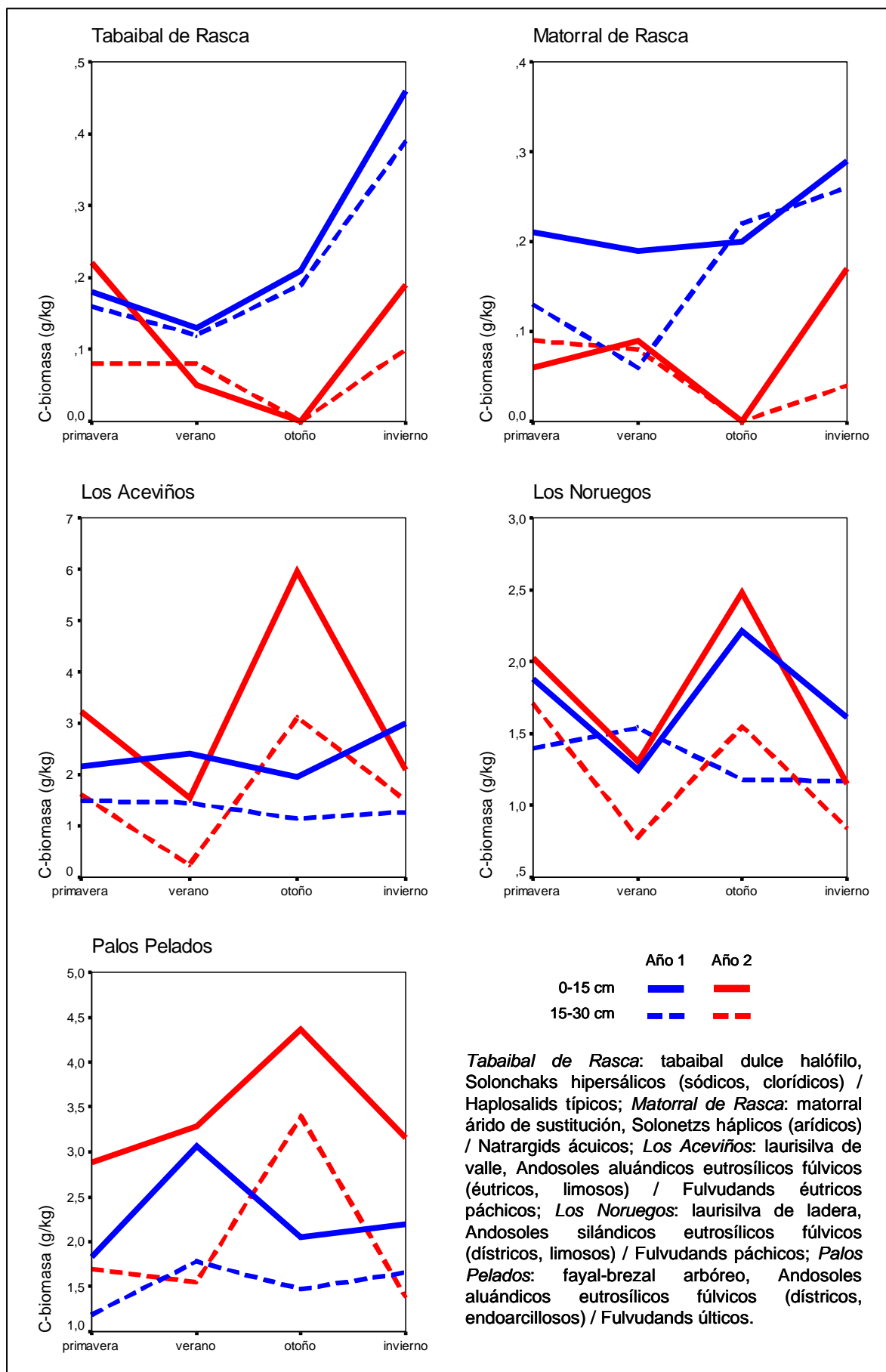


Figura V.24.a. Carbono ligado a la biomasa microbiana (g kg^{-1})

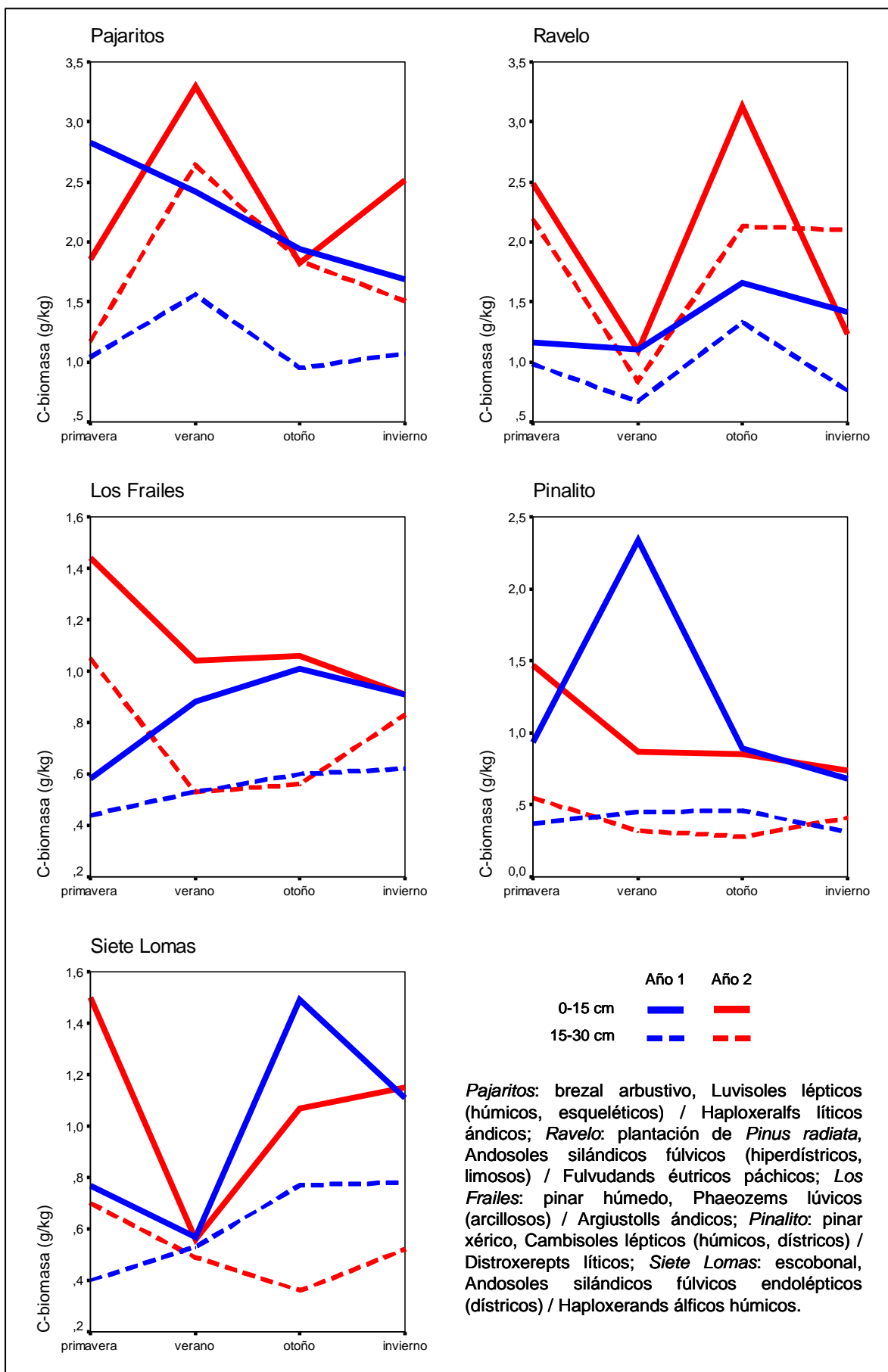


Figura V.24.b. Carbono ligado a la biomasa microbiana (g kg^{-1})

V.4.4. Carbono soluble en sulfato potásico

La fracción de carbono del suelo extraída mediante una solución de sulfato potásico se caracteriza por una alta solubilidad (Haney *et al.*, 2001), que asociamos a un elevado grado de biodisponibilidad (Marschner & Kalbitz, 2003). La mayor fuerza iónica del extractante respecto al agua le permite extraer ciertas fracciones de carbono que ésta no llega a solubilizar, debido a encontrarse retenidas en las arcillas y la materia orgánica del suelo (Chen *et al.*, 2005).

i) ZONA COSTERA

Los resultados obtenidos indican un mayor contenido de formas de carbono lábil soluble en sulfato potásico, en los suelos de *Tabaibal de Rasca* respecto a los de *Matorral* (Tabla V.55; Figura V.25.a), indicando un mayor dinamismo biológico en los primeros que se traduce en un mayor contenido de compuestos hidrocarbonados de bajo peso molecular. Apenas se observan variaciones entre las dos profundidades consideradas (0-15 y 15-30 cm). Se observa un patrón estacional claro, con los valores más altos en verano y otoño, y los más bajos en invierno y primavera. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de carbono entre los dos años de seguimiento, aunque sí una cierta tendencia a incrementarse el segundo año.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Los contenidos de carbono soluble en sulfato potásico en los suelos del monteverde (Tabla V.56; Figura V.25) son muy similares en todas las parcelas estudiadas, detectándose valores algo más bajos sólo en el caso de *Los Aceviños*. La variación de los contenidos de estas formas de carbono con la profundidad es muy pronunciada en los suelos de *Los Aceviños* y *Pajaritos*, donde se concentran especialmente entre 0 y 15 cm; algo menos marcada en *Los Noruegos* y *Palos Pelados*, donde tiende a ser mayor en superficie (0-15 cm) pero es muy variable entre años de muestreo; y sin apenas diferencias en *Ravelo*. Estacionalmente, el C-K₂SO₄ alcanza sus valores máximos en los meses de verano y otoño, y los mínimos en primavera e invierno. Interanualmente, se detectó un incremento general de C-K₂SO₄ en el segundo año de seguimiento.

iii) ZONA MONTANA SECA

En este ecosistema se encontraron grandes diferencias entre los contenidos de C-K₂SO₄ de los suelos de *Los Frailes* y *Pinalito*, similares y relativamente bajos, y los de *Siete Lomas*, donde estas formas de carbono alcanzan los mayores contenidos entre todos los suelos y ecosistemas estudiados (Tabla V.57; Figura V.25.b). Estos valores se deben a la abundancia de nódulos simbióticos de *Rhizobium* en las raíces de las leguminosas dominantes en *Siete Lomas*, donde los exudados radiculares enriquecen el medio edáfico en compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, sobre todo amidas, que son la forma de exportación preferente de nitrógeno en leguminosas genistoides como *Chamaecytisus proliferus* y *Adenocarpus viscosus* (Schubert, 1986).

La distribución del carbono lábil con la profundidad es también diferente en *Siete Lomas*, donde es más abundante en profundidad (15-30 cm), que en *Los Frailes* y *Pinalito*, con una mayor concentración en superficie (0-15 cm). Por el contrario, la dinámica estacional del C-K₂SO₄ es muy similar para los tres suelos, con un contenido máximo en verano, intermedio en otoño y mínimo en invierno y primavera. Por último, no se encontraron variaciones significativas interanuales, aunque sí una cierta tendencia a incrementarse el carbono el segundo año en *Los Frailes*.

| Tabla V.55. Carbono soluble en sulfato potásico 0,5M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|---|-------------------|-------------------|---------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,19 ± 0,05 | 0,10 ± 0,02 | 0,14 ± 0,03 |
| 15-30 cm | 0,20 ± 0,05 | 0,10 ± 0,02 | 0,15 ± 0,03 |
| F _{gl=1} | 0,01 | 0,39 | 0,00 |
| Significación | 0,941 | 0,576 | 0,982 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,09 ± 0,01 a | 0,06 ± 0,02 a | 0,08 ± 0,01 a |
| Verano | 0,29 ± 0,08 b | 0,11 ± 0,02 bc | 0,20 ± 0,05 b |
| Otoño | 0,27 ± 0,09 bc | 0,17 ± 0,04 c | 0,22 ± 0,05 b |
| Invierno | 0,11 ± 0,02 ac | 0,07 ± 0,01 ab | 0,09 ± 0,01 a |
| F _{gl=3} | 10,4 | 20,9 | 16,6 |
| Significación | 0,043 | 0,016 | 0,000 |
| Año | | | |
| 1 | 0,14 ± 0,01 | 0,09 ± 0,01 | 0,11 ± 0,01 |
| 2 | 0,24 ± 0,07 | 0,11 ± 0,03 | 0,18 ± 0,04 |
| F _{gl=1} | 0,57 | 0,02 | 0,75 |
| Significación | 0,507 | 0,903 | 0,401 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,19 ± 0,04 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,10 ± 0,02 |
| F _{gl=1} | - | - | 23,7 |
| Significación | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,42 | 3,59 | 0,28 |
| Significación | 0,753 | 0,161 | 0,839 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,14 | 1,09 | 0,24 |
| Significación | 0,733 | 0,373 | 0,635 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,04 |
| Significación | - | - | 0,843 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 4,40 | 12,7 | 8,72 |
| Significación | 0,128 | 0,033 | 0,002 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 0,94 |
| Significación | - | - | 0,452 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 2,59 |
| Significación | - | - | 0,131 |
| R ² | 0,939 | 0,974 | 0,892 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | |

| Tabla V.56. Carbono soluble en sulfato potásico 0,5M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,56 ± 0,08 | 0,74 ± 0,07 | 0,74 ± 0,09 | 0,95 ± 0,14 | 0,60 ± 0,06 | 0,72 ± 0,04 |
| 15-30 cm | 0,40 ± 0,07 | 0,61 ± 0,08 | 0,66 ± 0,05 | 0,48 ± 0,07 | 0,67 ± 0,06 | 0,57 ± 0,03 |
| F _{gl=1} | 12,02 | 7,82 | 4,38 | 80,8 | 2,93 | 43,6 |
| Significación | 0,040 | 0,068 | 0,127 | 0,003 | 0,186 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,41 ± 0,05 a | 0,57 ± 0,04 ab | 0,62 ± 0,05 a | 0,51 ± 0,08 a | 0,60 ± 0,04 a | 0,54 ± 0,03 a |
| Verano | 0,52 ± 0,13 a | 0,85 ± 0,14 b | 0,84 ± 0,15 b | 0,91 ± 0,22 a | 0,67 ± 0,06 a | 0,76 ± 0,07 b |
| Otoño | 0,66 ± 0,14 a | 0,77 ± 0,09 b | 0,75 ± 0,09 ab | 0,86 ± 0,27 a | 0,77 ± 0,12 a | 0,76 ± 0,07 b |
| Invierno | 0,35 ± 0,06 a | 0,51 ± 0,09 a | 0,59 ± 0,04 a | 0,58 ± 0,09 a | 0,51 ± 0,06 a | 0,51 ± 0,03 a |
| F _{gl=3} | 8,33 | 9,97 | 9,67 | 5,90 | 4,73 | 28,4 |
| Significación | 0,058 | 0,045 | 0,047 | 0,089 | 0,117 | 0,000 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,41 ± 0,04 | 0,64 ± 0,05 | 0,62 ± 0,05 | 0,60 ± 0,10 | 0,59 ± 0,02 | 0,57 ± 0,03 |
| 2 | 0,56 ± 0,10 | 0,71 ± 0,10 | 0,84 ± 0,15 | 0,84 ± 0,16 | 0,68 ± 0,08 | 0,71 ± 0,05 |
| F _{gl=1} | 10,2 | 0,08 | 10,7 | 19,4 | 0,00 | 20,2 |
| Significación | 0,049 | 0,791 | 0,047 | 0,022 | 0,992 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,48 ± 0,06 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,67 ± 0,06 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,70 ± 0,05 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,72 ± 0,09 b |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,64 ± 0,04 b |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 18,3 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,04 | 0,22 | 1,30 | 0,44 | 0,61 | 1,47 |
| Significación | 0,487 | 0,879 | 0,416 | 0,743 | 0,651 | 0,236 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,04 | 2,66 | 4,11 | 12,3 | 0,20 | 1,77 |
| Significación | 0,863 | 0,201 | 0,136 | 0,039 | 0,684 | 0,191 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 12,6 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 10,9 | 11,81 | 15,3 | 6,52 | 6,09 | 38,2 |
| Significación | 0,040 | 0,036 | 0,025 | 0,079 | 0,086 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 1,36 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,220 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,78 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,150 |
| R ² | 0,965 | 0,962 | 0,970 | 0,981 | 0,926 | 0,906 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

| Tabla V.57. Carbono soluble en sulfato potásico 0,5M (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,42 ± 0,07 | 0,50 ± 0,14 | 1,07 ± 0,14 | 0,66 ± 0,09 |
| 15-30 cm | 0,26 ± 0,03 | 0,26 ± 0,03 | 1,52 ± 0,13 | 0,68 ± 0,13 |
| F _{gl=1} | 25,5 | 11,1 | 9,59 | 8,18 |
| Significación | 0,015 | 0,045 | 0,053 | 0,009 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,26 ± 0,04 ab | 0,27 ± 0,04 a | 1,07 ± 0,21 a | 0,54 ± 0,13 a |
| Verano | 0,46 ± 0,10 b | 0,65 ± 0,27 a | 1,68 ± 0,12 a | 0,93 ± 0,19 c |
| Otoño | 0,40 ± 0,08 ab | 0,35 ± 0,04 a | 1,36 ± 0,23 a | 0,70 ± 0,16 b |
| Invierno | 0,23 ± 0,04 a | 0,23 ± 0,03 a | 1,05 ± 0,17 a | 0,50 ± 0,13 a |
| F _{gl=3} | 13,1 | 4,68 | 4,15 | 21,6 |
| Significación | 0,031 | 0,119 | 0,136 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,30 ± 0,03 | 0,42 ± 0,15 | 1,24 ± 0,14 | 0,65 ± 0,11 |
| 2 | 0,38 ± 0,07 | 0,33 ± 0,04 | 1,34 ± 0,16 | 0,68 ± 0,11 |
| F _{gl=1} | 6,91 | 0,00 | 0,50 | 0,61 |
| Significación | 0,078 | 0,995 | 0,531 | 0,444 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,34 ± 0,04 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,38 ± 0,08 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 1,29 ± 0,11 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 192,8 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 3,00 | 0,26 | 0,64 | 3,23 |
| Significación | 0,195 | 0,850 | 0,637 | 0,041 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 1,57 | 0,33 | 0,32 | 0,12 |
| Significación | 0,299 | 0,604 | 0,610 | 0,738 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 18,6 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 5,11 | 0,82 | 1,47 | 4,90 |
| Significación | 0,107 | 0,562 | 0,379 | 0,009 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 0,63 |
| Significación | - | - | - | 0,708 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,96 |
| Significación | - | - | - | 0,397 |
| R ² | 0,970 | 0,905 | 0,907 | 0,958 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

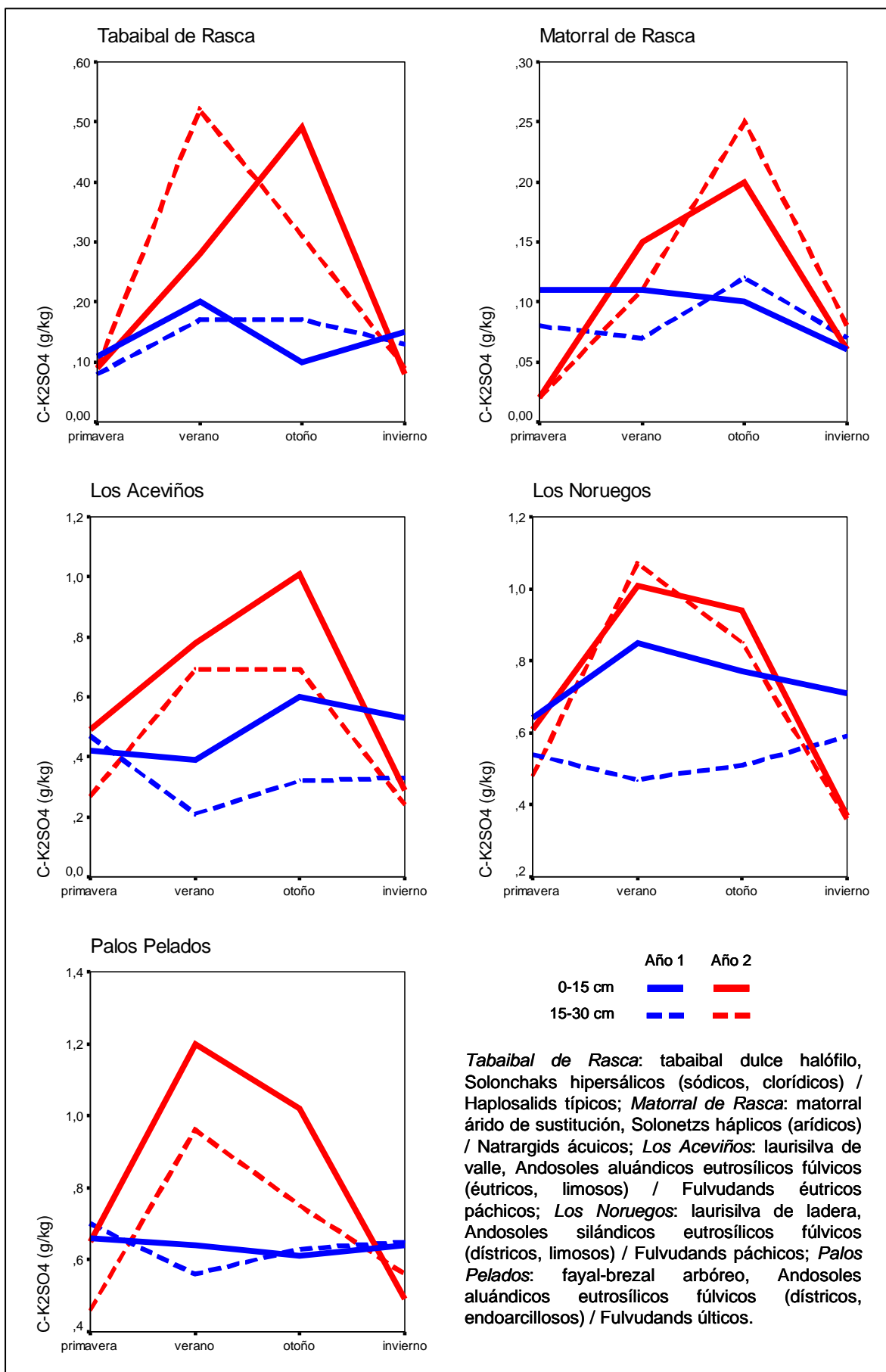


Figura V.25.a. Carbono extraído con sulfato potásico 0,5 M (g kg⁻¹)

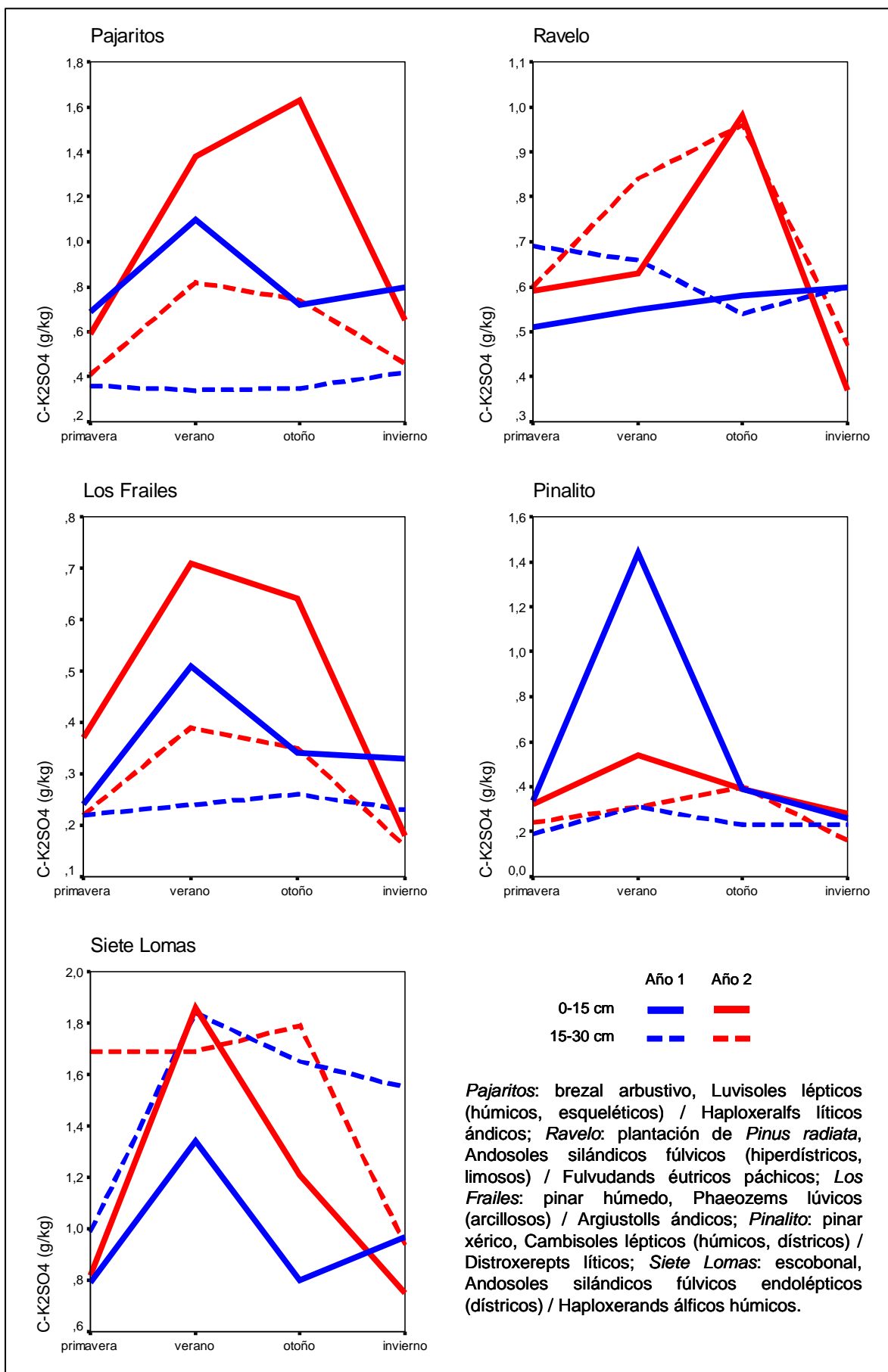


Figura V.25.b. Carbono extraído con sulfato potásico 0,5 M (g kg^{-1})

V.4.5. Carbono soluble en agua caliente

El carbono soluble en agua caliente se usa frecuentemente como una medida del carbono potencialmente biodisponible, incluyéndose dentro del carbono de fácil descomposición (Davidson *et al.*, 1987; Henriksen & Breland, 1999; Körschens *et al.*, 1990; Schulz, 1990, 2002; Sparling *et al.*, 1998) y considerándosele uno de los mejores y más rápidos indicadores para estimar el constituyente lábil de la materia orgánica del suelo (Henriksen & Breland, 1999; Körschens *et al.*, 1990).

El análisis a través de métodos pirolíticos y resonancia magnética nuclear de los extractos obtenidos, ha mostrado que esta fracción de carbono se compone principalmente de carbohidratos y compuestos orgánicos ricos en nitrógeno, en particular N-aminados y amidas, derivados probablemente de la desecación de las células microbianas (Haynes, 2005). Muchos de estos compuestos se volatilizan a temperaturas relativamente bajas durante el proceso pirolítico, de lo que se deduce que se encuentran en la solución del suelo o débilmente adsorbidos a superficies minerales o macromoléculas húmicas (Leinweber *et al.*, 1995).

i) ZONA COSTERA

Según los resultados obtenidos (Tabla V.58; Figura V.26.a), el contenido de carbono soluble en agua caliente es superior en los suelos de la parcela *Tabaibal de Rasca*, evidenciando una mayor calidad biológica en los suelos de la parcela con vegetación próxima a la madurez. Es mayor en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm), decrece del primer al segundo año de seguimiento, y no mostró un patrón estacional definido.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Los contenidos más altos de carbono soluble en agua caliente se dan en los suelos de *Palos Pelados*, intermedios en *Los Aceviños*, *Los Noruegos* y *Pajaritos*, y el más bajo en *Ravelo* (Tabla V.59; Figura V.26). Es mucho más abundante en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm). Sólo presenta un patrón estacional claro en los suelos de *Pajaritos*, con valores máximos en verano, intermedios en primavera y mínimos en otoño e invierno.

Las variaciones interanuales difieren según el caso. Así, en los suelos de *Los Noruegos* y *Ravelo* se produce un descenso en el contenido de carbono en el segundo año de seguimiento, mientras que en *Pajaritos* aumenta, y en *Los Aceviños* y *Palos Pelados* no se observan variaciones significativas.

iii) ZONA MONTANA SECA

En este ecosistema la cantidad de carbono soluble en agua caliente es similar en los tres suelos, y es mayor en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm) (Tabla V.60; Figura V.26.b). Estacionalmente los valores son algo más altos en primavera y verano, y más bajos en otoño e invierno. En los suelos de *Los Frailes* y *Siete Lomas* no se detectaron variaciones interanuales, pero sí se observó cierta tendencia a disminuir en el caso de *Pinalito*.

| Tabla V.58. Carbono soluble en agua caliente (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,38 \pm 0,05 | 0,23 \pm 0,03 | 0,30 \pm 0,03 |
| 15-30 cm | 0,26 \pm 0,02 | 0,20 \pm 0,03 | 0,23 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | 23,8 | 0,97 | 6,88 |
| Significación | 0,016 | 0,397 | 0,021 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,31 \pm 0,03 a | 0,23 \pm 0,07 a | 0,27 \pm 0,04 a |
| Verano | 0,26 \pm 0,01 a | 0,26 \pm 0,02 a | 0,26 \pm 0,01 a |
| Otoño | 0,32 \pm 0,05 a | 0,16 \pm 0,02 a | 0,24 \pm 0,04 a |
| Invierno | 0,39 \pm 0,10 a | 0,21 \pm 0,03 a | 0,30 \pm 0,06 a |
| F _{gl=3} | 2,23 | 1,40 | 0,65 |
| Significación | 0,264 | 0,394 | 0,598 |
| Año | | | |
| 1 | 0,36 \pm 0,05 | 0,26 \pm 0,03 | 0,31 \pm 0,03 |
| 2 | 0,28 \pm 0,02 | 0,17 \pm 0,02 | 0,22 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | 7,45 | 7,10 | 9,36 |
| Significación | 0,072 | 0,076 | 0,009 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,32 \pm 0,03 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,22 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | - | - | 12,1 |
| Significación | - | - | 0,004 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 2,14 | 0,52 | 0,61 |
| Significación | 0,274 | 0,699 | 0,623 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,91 | 0,07 | 0,17 |
| Significación | 0,410 | 0,811 | 0,690 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 1,95 |
| Significación | - | - | 0,186 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 1,90 | 0,46 | 0,92 |
| Significación | 0,306 | 0,730 | 0,459 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 2,05 |
| Significación | - | - | 0,157 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,06 |
| Significación | - | - | 0,806 |
| R ² | 0,944 | 0,836 | 0,768 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.59. Carbono soluble en agua caliente (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 4,10 \pm 0,36 | 4,16 \pm 0,55 | 5,26 \pm 0,23 | 4,66 \pm 0,39 | 2,31 \pm 0,14 | 4,10 \pm 0,22 |
| 15-30 cm | 1,77 \pm 0,13 | 2,16 \pm 0,20 | 3,19 \pm 0,06 | 2,22 \pm 0,31 | 1,05 \pm 0,11 | 2,08 \pm 0,14 |
| $F_{\text{gl}=1}$ | 52,4 | 60,1 | 71,8 | 319,3 | 194,8 | 221,3 |
| Significación | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,000 | 0,001 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 2,68 \pm 0,57 a | 3,98 \pm 1,30 a | 4,41 \pm 0,76 a | 3,69 \pm 0,85 ab | 1,78 \pm 0,39 a | 3,31 \pm 0,40 a |
| Verano | 2,52 \pm 0,70 a | 2,94 \pm 0,35 a | 4,33 \pm 0,68 a | 4,31 \pm 1,02 a | 1,44 \pm 0,33 a | 3,11 \pm 0,37 a |
| Otoño | 3,41 \pm 1,02 a | 2,84 \pm 0,63 a | 4,24 \pm 0,60 a | 2,89 \pm 0,67 b | 1,76 \pm 0,44 a | 3,03 \pm 0,33 a |
| Invierno | 3,14 \pm 0,68 a | 2,88 \pm 0,66 a | 3,92 \pm 0,50 a | 2,86 \pm 0,68 b | 1,74 \pm 0,45 a | 2,91 \pm 0,29 a |
| $F_{\text{gl}=3}$ | 1,47 | 1,25 | 0,29 | 21,0 | 3,13 | 1,09 |
| Significación | 0,380 | 0,429 | 0,833 | 0,016 | 0,187 | 0,366 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 3,18 \pm 0,56 | 3,83 \pm 0,65 | 4,28 \pm 0,42 | 3,18 \pm 0,56 | 1,89 \pm 0,29 | 3,27 \pm 0,25 |
| 2 | 2,69 \pm 0,45 | 2,49 \pm 0,29 | 4,17 \pm 0,44 | 3,69 \pm 0,59 | 1,47 \pm 0,22 | 2,90 \pm 0,23 |
| $F_{\text{gl}=1}$ | 2,29 | 21,4 | 0,27 | 14,1 | 22,2 | 7,79 |
| Significación | 0,228 | 0,019 | 0,637 | 0,033 | 0,018 | 0,008 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 2,94 \pm 0,35 b |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 3,16 \pm 0,38 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 4,22 \pm 0,29 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 3,44 \pm 0,40 b |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 1,68 \pm 0,18 c |
| $F_{\text{gl}=4}$ | - | - | - | - | - | 41,0 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=3}$ | 0,97 | 2,21 | 0,31 | 1,32 | 0,54 | 0,43 |
| Significación | 0,510 | 0,266 | 0,818 | 0,413 | 0,687 | 0,733 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=1}$ | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 5,19 | 1,72 | 1,15 |
| Significación | 0,970 | 0,995 | 0,813 | 0,107 | 0,281 | 0,289 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=4}$ | - | - | - | - | - | 1,11 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,364 |
| Estación x Año | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=3}$ | 1,31 | 1,57 | 0,66 | 17,8 | 6,47 | 0,77 |
| Significación | 0,415 | 0,359 | 0,631 | 0,020 | 0,080 | 0,520 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=12}$ | - | - | - | - | - | 1,91 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,061 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=4}$ | - | - | - | - | - | 4,29 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,005 |
| R^2 | 0,957 | 0,970 | 0,962 | 0,994 | 0,988 | 0,912 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | | | |

| Tabla V.60. Carbono soluble en agua caliente (g kg ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 1,68 ± 0,20 | 1,90 ± 0,51 | 1,91 ± 0,18 | 1,83 ± 0,19 |
| 15-30 cm | 0,67 ± 0,07 | 0,54 ± 0,08 | 0,65 ± 0,05 | 0,62 ± 0,04 |
| F _{gl=1} | 27,8 | 43,7 | 45,4 | 178,0 |
| Significación | 0,013 | 0,007 | 0,007 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 1,24 ± 0,46 a | 1,42 ± 0,41 a | 1,47 ± 0,49 a | 1,38 ± 0,24 a |
| Verano | 1,39 ± 0,27 a | 2,02 ± 1,10 a | 1,19 ± 0,29 a | 1,53 ± 0,37 a |
| Otoño | 1,11 ± 0,33 a | 0,76 ± 0,26 a | 1,16 ± 0,34 a | 1,01 ± 0,17 b |
| Invierno | 0,97 ± 0,35 a | 0,67 ± 0,20 a | 1,30 ± 0,48 a | 0,98 ± 0,20 b |
| F _{gl=3} | 1,11 | 6,50 | 0,34 | 8,84 |
| Significación | 0,467 | 0,079 | 0,799 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 1,15 ± 0,20 | 1,54 ± 0,57 | 1,36 ± 0,25 | 1,35 ± 0,21 |
| 2 | 1,21 ± 0,28 | 0,89 ± 0,23 | 1,20 ± 0,29 | 1,10 ± 0,15 |
| F _{gl=1} | 0,01 | 6,34 | 1,42 | 7,82 |
| Significación | 0,923 | 0,086 | 0,319 | 0,010 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 1,18 ± 0,17 a |
| Pinalito | - | - | - | 1,22 ± 0,31 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 1,28 ± 0,19 a |
| F _{gl=2} | - | - | - | 2,49 |
| Significación | - | - | - | 0,105 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,13 | 0,12 | 0,42 | 0,28 |
| Significación | 0,937 | 0,943 | 0,754 | 0,843 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,19 | 0,02 | 0,33 | 0,65 |
| Significación | 0,690 | 0,894 | 0,609 | 0,429 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 1,08 |
| Significación | - | - | - | 0,355 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 2,62 | 0,98 | 0,31 | 3,06 |
| Significación | 0,225 | 0,508 | 0,822 | 0,049 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,46 |
| Significación | - | - | - | 0,055 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 2,49 |
| Significación | - | - | - | 0,105 |
| R ² | 0,930 | 0,960 | 0,944 | 0,916 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | |

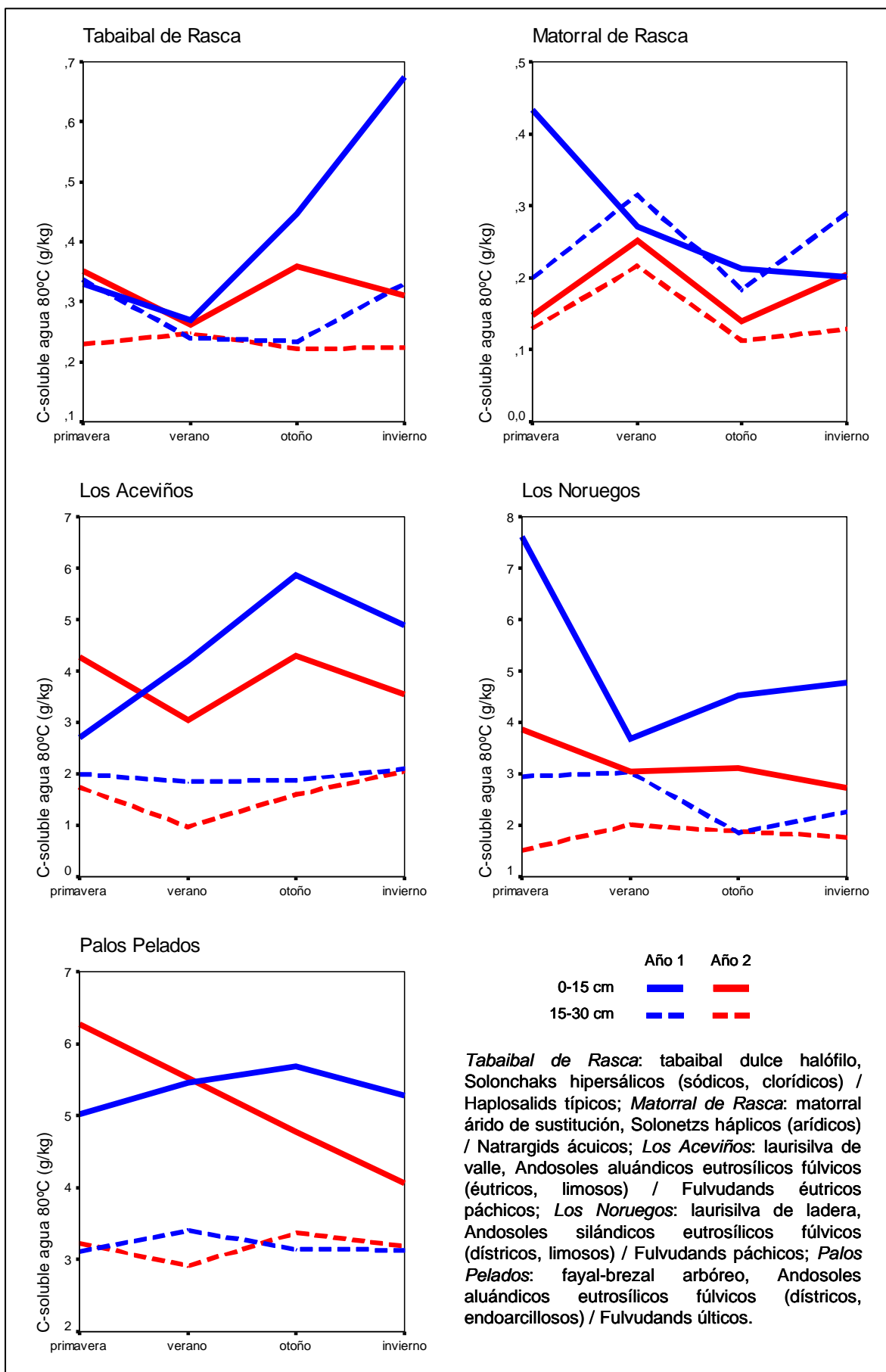


Figura V.26.a. Carbono soluble en agua caliente (80°C) (g kg⁻¹)

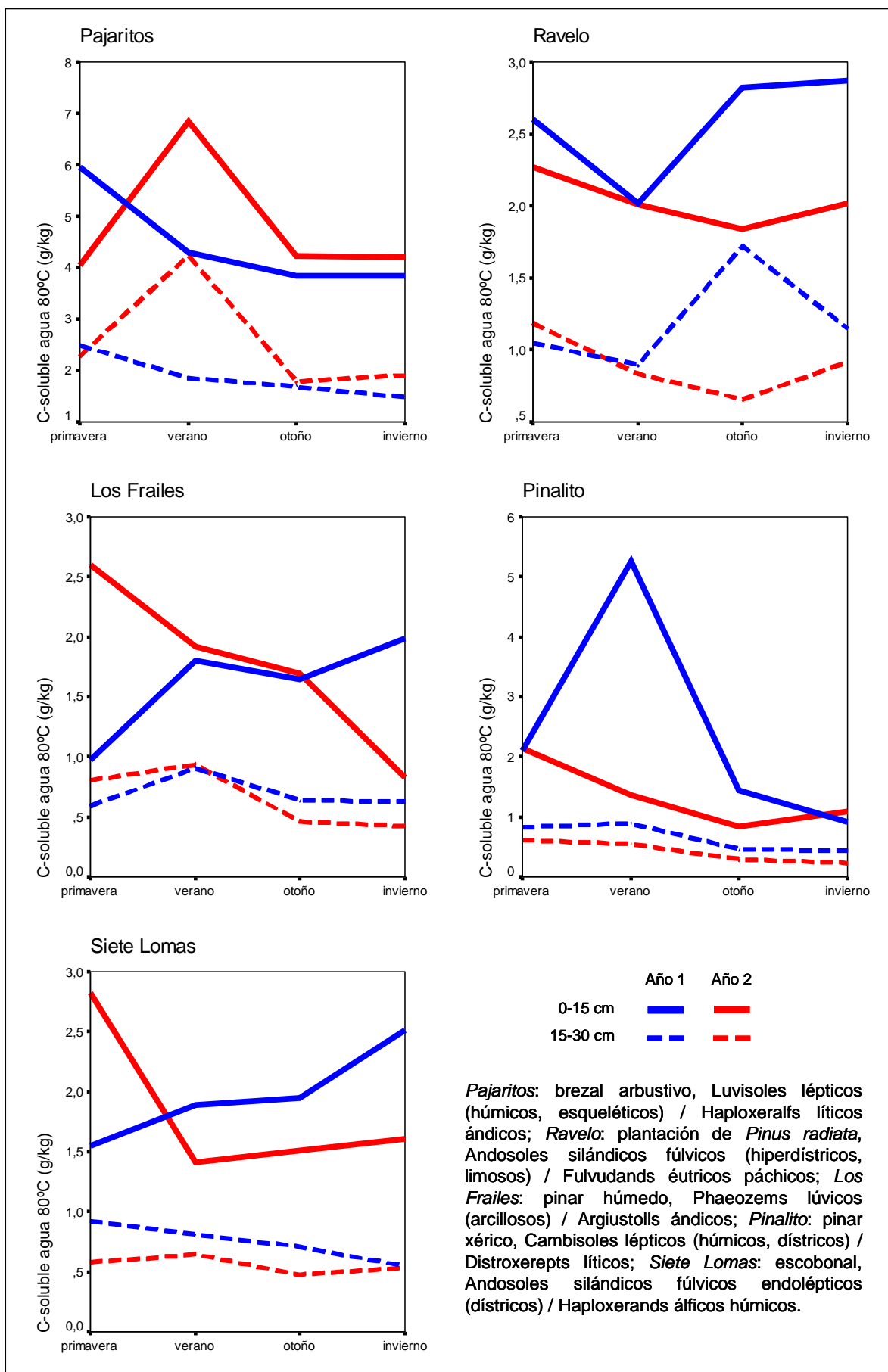


Figura V.26.b. Carbono soluble en agua caliente (80°C) (g kg⁻¹)

V.4.6. Carbono orgánico disuelto

La materia orgánica disuelta incluye desde moléculas muy pequeñas a sustancias coloidales, y constituye la fracción más móvil del carbono edáfico, transportándose a todos los compartimentos del suelo mediante difusión y convección (von Lützow *et al.*, 2007). Aunque suele considerarse un sustrato para la actividad microbiana (Burford & Bremner, 1975), sólo un 10-40% se ha comprobado como fácilmente degradable (Haynes, 2005; Kalbitz *et al.*, 2003; Marschner & Kalbitz, 2003). En realidad, la materia orgánica disuelta en agua es una fracción heterogénea, con tiempos de residencia que varían desde pocas semanas a varias décadas (Qualls & Haines, 1992; Balesdent, 1996; Schwesig *et al.*, 2003; Haynes, 2005; John *et al.*, 2003; Kaiser & Ellerbrock, 2005; Kalbitz *et al.*, 2003).

En nuestro caso analizamos la materia orgánica disuelta a partir de la determinación del **carbono soluble en agua**, resultado de una extracción de baja intensidad de los componentes de la solución del suelo fresco; y del **carbono disuelto en el extracto de saturación** del suelo seco al aire, generalmente mayor que el carbono del suelo fresco (Davidson *et al.*, 1987; Bolan *et al.*, 1996), debido a que la desecación rompe determinadas asociaciones organominerales, liberando componentes húmicos de bajo peso molecular (Haynes, 2000), y mata hasta un 40% de la microbiota (Sparling *et al.*, 1986; West *et al.*, 1992).

V.4.6.1. Carbono orgánico soluble en agua

i) ZONA COSTERA

El contenido en estas formas de carbono es similar en ambos suelos, indicando una similar riqueza del suelo fresco en compuestos hidrocarbonados de escaso peso molecular y alta solubilidad. No varía ni con la profundidad ni estacionalmente, aunque sí se encontró una disminución en el contenido de carbono soluble en agua en el segundo año de seguimiento (Tabla V.61; Figura V.27.a).

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

El contenido de carbono en formas solubles resulta mayor en los suelos que sustentan una vegetación menos desarrollada, alcanzando sus valores más altos en los suelos de *Palos Pelados* y *Pajaritos*, intermedios en *Los Aceviños* y *Los Noruegos*, y los más bajos en *Ravelo* (Tabla V.62; Figura V.27). El carbono soluble en agua es más abundante en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm); es máximo en primavera y verano, intermedio en otoño y mínimo en invierno; y disminuye el segundo año de muestreo.

iii) ZONA MONTANA SECA

El contenido de formas de carbono solubles en agua tiende a ser mayor en *Pinalito*, intermedio en *Los Frailes* y más bajo en *Siete Lomas* (Tabla V.63; Figura V.27.b). Estas formas de carbono se concentran especialmente en superficie (0-15 cm), son más abundantes en verano que en el resto del año, y descienden significativamente el segundo año de seguimiento.

| Tabla V.61. Carbono soluble en agua (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,06 \pm 0,02 | 0,05 \pm 0,01 | 0,06 \pm 0,01 |
| 15-30 cm | 0,07 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 0,34 | 0,56 | 1,40 |
| Significación | 0,601 | 0,509 | 0,257 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,07 \pm 0,02 a | 0,06 \pm 0,02 a | 0,07 \pm 0,01 a |
| Verano | 0,10 \pm 0,02 a | 0,06 \pm 0,01 a | 0,08 \pm 0,01 a |
| Otoño | 0,03 \pm 0,02 a | 0,06 \pm 0,03 a | 0,05 \pm 0,02 a |
| Invierno | 0,06 \pm 0,02 a | 0,05 \pm 0,02 a | 0,06 \pm 0,02 a |
| $F_{gl=3}$ | 1,66 | 2,40 | 2,59 |
| Significación | 0,343 | 0,246 | 0,098 |
| Año | | | |
| 1 | 0,08 \pm 0,01 | 0,09 \pm 0,01 | 0,08 \pm 0,01 |
| 2 | 0,05 \pm 0,02 | 0,03 \pm 0,01 | 0,04 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 2,04 | 23,7 | 21,2 |
| Significación | 0,248 | 0,017 | 0,000 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,07 \pm 0,01 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,06 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,184 |
| Significación | - | - | 0,675 |
| Profundidad x Estación | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,16 | 1,68 | 1,09 |
| Significación | 0,915 | 0,341 | 0,387 |
| Profundidad x Año | | | |
| $F_{gl=1}$ | 0,30 | 0,08 | 0,19 |
| Significación | 0,622 | 0,799 | 0,667 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,07 |
| Significación | - | - | 0,801 |
| Estación x Año | | | |
| $F_{gl=3}$ | 1,96 | 3,29 | 3,79 |
| Significación | 0,297 | 0,177 | 0,038 |
| Estación x Parcela | | | |
| $F_{gl=3}$ | - | - | 1,44 |
| Significación | - | - | 0,276 |
| Año x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 2,22 |
| Significación | - | - | 0,160 |
| R^2 | 0,824 | 0,939 | 0,800 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.62. Carbono soluble en agua (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,15 \pm 0,02 | 0,16 \pm 0,03 | 0,23 \pm 0,02 | 0,27 \pm 0,05 | 0,11 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,02 |
| 15-30 cm | 0,11 \pm 0,02 | 0,11 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,01 | 0,14 \pm 0,02 | 0,08 \pm 0,01 | 0,12 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 3,64 | 31,4 | 9,16 | 39,6 | 4,14 | 6,50 |
| Significación | 0,153 | 0,011 | 0,056 | 0,008 | 0,135 | 0,014 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,15 \pm 0,01 a | 0,16 \pm 0,02 a | 0,22 \pm 0,03 a | 0,20 \pm 0,03 ab | 0,13 \pm 0,01 a | 0,17 \pm 0,01 a |
| Verano | 0,10 \pm 0,02 a | 0,16 \pm 0,04 ab | 0,22 \pm 0,02 a | 0,33 \pm 0,09 a | 0,10 \pm 0,01 a | 0,18 \pm 0,03 a |
| Otoño | 0,17 \pm 0,02 a | 0,14 \pm 0,03 ab | 0,19 \pm 0,03 a | 0,15 \pm 0,04 b | 0,08 \pm 0,01 a | 0,15 \pm 0,01 ab |
| Invierno | 0,10 \pm 0,06 a | 0,10 \pm 0,03 b | 0,18 \pm 0,04 a | 0,13 \pm 0,04 b | 0,08 \pm 0,04 a | 0,12 \pm 0,02 b |
| $F_{gl=3}$ | 2,97 | 9,90 | 1,64 | 19,0 | 2,49 | 4,39 |
| Significación | 0,198 | 0,046 | 0,348 | 0,019 | 0,237 | 0,009 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,16 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,02 | 0,24 \pm 0,01 | 0,23 \pm 0,05 | 0,12 \pm 0,01 | 0,19 \pm 0,01 |
| 2 | 0,10 \pm 0,02 | 0,09 \pm 0,01 | 0,17 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,04 | 0,07 \pm 0,02 | 0,12 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 7,35 | 117,4 | 16,0 | 7,34 | 10,4 | 11,0 |
| Significación | 0,073 | 0,002 | 0,028 | 0,073 | 0,048 | 0,002 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,13 \pm 0,02 ab |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,14 \pm 0,02 ab |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,20 \pm 0,01 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,20 \pm 0,03 b |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,10 \pm 0,01 a |
| $F_{gl=4}$ | - | - | - | - | - | 4,63 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,003 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,92 | 1,44 | 0,66 | 1,02 | 1,19 | 1,10 |
| Significación | 0,525 | 0,386 | 0,631 | 0,494 | 0,445 | 0,361 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 0,92 | 7,16 | 0,149 | 0,10 | 0,35 | 0,64 |
| Significación | 0,409 | 0,075 | 0,725 | 0,768 | 0,595 | 0,427 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | - | - | - | - | - | 0,67 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,620 |
| Estación x Año | | | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 2,83 | 6,33 | 2,32 | 7,07 | 3,18 | 4,22 |
| Significación | 0,208 | 0,082 | 0,254 | 0,071 | 0,184 | 0,011 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=12}$ | - | - | - | - | - | 1,02 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,446 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | - | - | - | - | - | 1,17 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,338 |
| R^2 | 0,914 | 0,986 | 0,929 | 0,977 | 0,922 | 0,665 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | | | |

| Tabla V.63. Carbono soluble en agua (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,13 \pm 0,03 | 0,20 \pm 0,07 | 0,13 \pm 0,04 | 0,15 \pm 0,03 |
| 15-30 cm | 0,10 \pm 0,02 | 0,08 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,02 | 0,08 \pm 0,01 |
| F _{gl=1} | 1,01 | 56,3 | 5,34 | 13,6 |
| Significación | 0,388 | 0,005 | 0,104 | 0,001 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,09 \pm 0,02 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,07 \pm 0,03 a | 0,09 \pm 0,01 a |
| Verano | 0,16 \pm 0,05 a | 0,27 \pm 0,15 a | 0,20 \pm 0,06 a | 0,21 \pm 0,05 b |
| Otoño | 0,11 \pm 0,03 a | 0,06 \pm 0,01 b | 0,03 \pm 0,02 a | 0,07 \pm 0,02 a |
| Invierno | 0,11 \pm 0,03 a | 0,10 \pm 0,01 a | 0,07 \pm 0,05 a | 0,09 \pm 0,02 a |
| F _{gl=3} | 0,91 | 30,3 | 3,88 | 8,84 |
| Significación | 0,529 | 0,010 | 0,148 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,14 \pm 0,01 | 0,17 \pm 0,08 | 0,11 \pm 0,04 | 0,14 \pm 0,03 |
| 2 | 0,10 \pm 0,03 | 0,11 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,03 | 0,09 \pm 0,01 |
| F _{gl=1} | 3,48 | 0,27 | 0,37 | 5,03 |
| Significación | 0,159 | 0,639 | 0,585 | 0,035 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,12 \pm 0,02 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,14 \pm 0,04 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,09 \pm 0,02 a |
| F _{gl=2} | - | - | - | 3,27 |
| Significación | - | - | - | 0,056 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 1,85 | 9,66 | 0,83 | 3,91 |
| Significación | 0,314 | 0,047 | 0,558 | 0,022 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,02 | 3,24 | 0,39 | 1,22 |
| Significación | 0,890 | 0,170 | 0,579 | 0,280 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 1,13 |
| Significación | - | - | - | 0,340 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 0,98 | 5,60 | 1,00 | 0,57 |
| Significación | 0,508 | 0,096 | 0,501 | 0,640 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 1,01 |
| Significación | - | - | - | 0,442 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,13 |
| Significación | - | - | - | 0,883 |
| R ² | 0,840 | 0,985 | 0,886 | 0,765 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

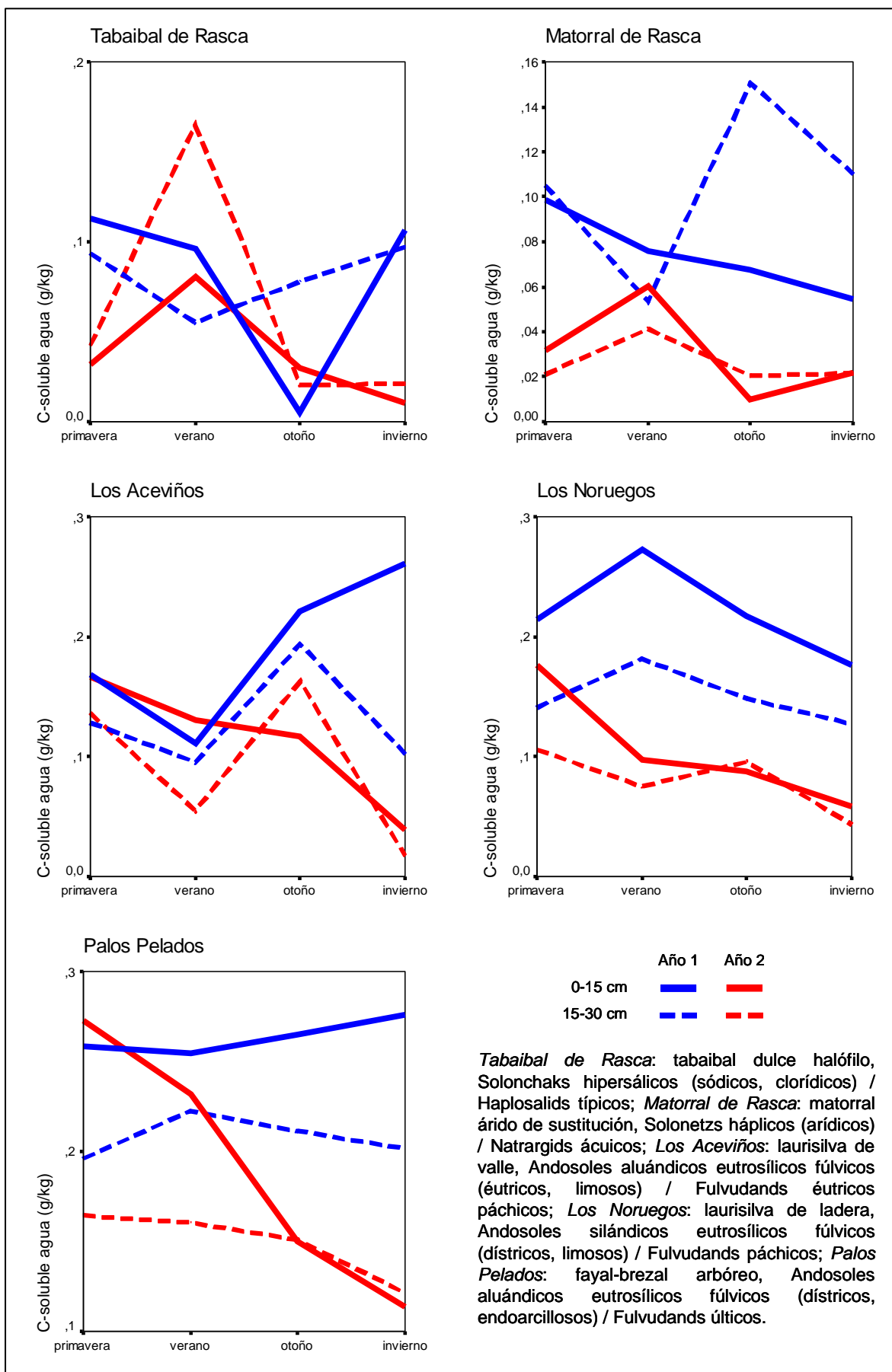


Figura V.27.a. Carbono soluble en agua (g kg^{-1})

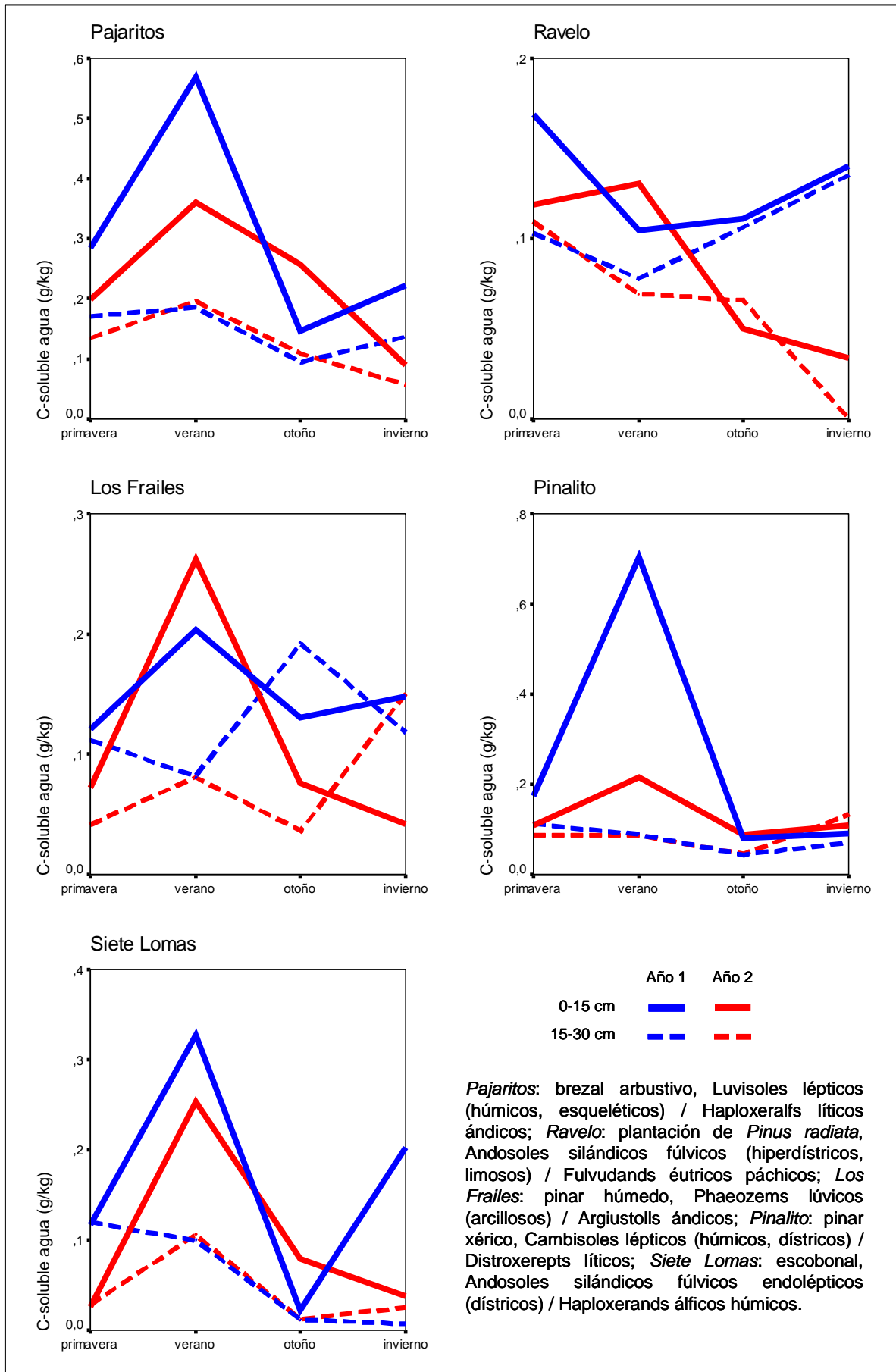


Figura V.27.b. Carbono soluble en agua (g kg^{-1})

V.4.6.2. Carbono orgánico disuelto en el extracto de saturación

i) ZONA COSTERA

El contenido de carbono disuelto en el extracto saturado es mayor en los suelos de *Tabaibal de Rasca* que en los de *Matorral* (Tabla V.64; Figura V.28.a), en contraste con el similar contenido de carbono soluble observado en el suelo fresco (Sección V.4.6.1.i). Este resultado parece indicar una mayor riqueza del suelo de *Tabaibal* en compuestos hidrocarbonados lábiles susceptibles de descomponerse en formas hidrosolubles durante el secado del suelo. El carbono disuelto en el extracto saturado tiende a concentrarse en los primeros 15 cm del suelo, no presenta ningún patrón estacional, y desciende significativamente en el segundo año de seguimiento, especialmente en superficie (0-15 cm).

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

El carbono disuelto en el extracto de saturación alcanza su contenido máximo en los suelos de *Palos Pelados* y *Pajaritos*, intermedio en *Los Aceviños* y *Los Noruegos* y menor en *Ravelo* (Tabla V.65; Figura V.28). Es más abundante en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm), especialmente en *Los Aceviños* y *Pajaritos*. En general, los valores más altos se dan en verano, aunque sólo *Palos Pelados* y *Pajaritos* presentaron patrones estacionales definidos. En *Palos Pelados*, el máximo contenido de carbono se produce en verano, es intermedio en invierno y se hace mínimo en primavera y otoño. En *Pajaritos*, el contenido es más alto en verano, intermedio en primavera y otoño y mínimo en invierno. La variación interanual es diferente según el caso: en los suelos de *Los Aceviños* el contenido de carbono desciende el segundo año de muestreo, en *Pajaritos* se incrementa, y en las restantes no se encontraron diferencias entre un año y otro.

iii) ZONA MONTANA SECA

El carbono del extracto de saturación alcanza sus valores más altos en este ecosistema en la parcela *Siete Lomas* (Tabla V.66; Figura V.28.b), cuyos suelos son ricos en compuestos nitrogenados lábiles resultado de la fijación simbiótica de nitrógeno en las raíces de las leguminosas (ver Sección V.4.4.iii). El contenido de carbono disuelto es mayor en los primeros 15 cm del suelo; muestra cierta estacionalidad, con valores más altos en verano respecto al resto del año; y diferencias interanuales, con una tendencia al descenso en el segundo año de seguimiento.

| Tabla V.64. Carbono disuelto en extracto saturado (mg kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 16,4 \pm 1,82 | 11,2 \pm 1,89 | 13,8 \pm 1,44 |
| 15-30 cm | 9,11 \pm 0,84 | 8,36 \pm 0,91 | 8,74 \pm 0,61 |
| F _{gl=1} | 15,4 | 2,19 | 9,94 |
| Significación | 0,030 | 0,235 | 0,008 |
| Estación | | | |
| Primavera | 14,3 \pm 2,83 a | 10,2 \pm 3,30 a | 12,2 \pm 2,15 a |
| Verano | 10,5 \pm 2,79 a | 11,4 \pm 2,85 a | 11,0 \pm 1,86 a |
| Otoño | 12,4 \pm 3,44 a | 7,19 \pm 0,44 a | 9,81 \pm 1,89 a |
| Invierno | 13,9 \pm 2,43 a | 10,2 \pm 0,82 a | 12,1 \pm 1,38 a |
| F _{gl=3} | 1,21 | 1,16 | 1,20 |
| Significación | 0,439 | 0,454 | 0,349 |
| Año | | | |
| 1 | 13,8 \pm 2,05 | 11,7 \pm 1,80 | 12,8 \pm 1,34 |
| 2 | 11,7 \pm 1,83 | 7,81 \pm 0,80 | 9,78 \pm 1,09 |
| F _{gl=1} | 1,14 | 5,10 | 5,25 |
| Significación | 0,364 | 0,109 | 0,039 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 12,8 \pm 1,35 |
| Matorral de Rasca | - | - | 9,76 \pm 1,08 |
| F _{gl=1} | - | - | 5,81 |
| Significación | - | - | 0,031 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,21 | 0,99 | 0,45 |
| Significación | 0,883 | 0,503 | 0,725 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,52 | 0,82 | 0,58 |
| Significación | 0,522 | 0,433 | 0,459 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 1,04 |
| Significación | - | - | 0,327 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 2,24 | 1,85 | 2,67 |
| Significación | 0,263 | 0,313 | 0,091 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 1,38 |
| Significación | - | - | 0,294 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 1,40 |
| Significación | - | - | 0,258 |
| R ² | 0,903 | 0,870 | 0,760 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.65. Carbono disuelto en extracto saturado (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,52 \pm 0,07 | 0,38 \pm 0,06 | 0,67 \pm 0,13 | 0,79 \pm 0,10 | 0,21 \pm 0,05 | 0,51 \pm 0,05 |
| 15-30 cm | 0,22 \pm 0,03 | 0,25 \pm 0,04 | 0,55 \pm 0,05 | 0,42 \pm 0,11 | 0,14 \pm 0,02 | 0,32 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 41,1 | 3,59 | 2,90 | 247,7 | 2,59 | 43,3 |
| Significación | 0,008 | 0,154 | 0,187 | 0,001 | 0,206 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,35 \pm 0,09 a | 0,28 \pm 0,05 a | 0,47 \pm 0,03 a | 0,61 \pm 0,12 b | 0,14 \pm 0,02 a | 0,37 \pm 0,05 a |
| Verano | 0,46 \pm 0,18 a | 0,47 \pm 0,08 a | 0,97 \pm 0,17 b | 0,97 \pm 0,19 a | 0,31 \pm 0,07 a | 0,64 \pm 0,09 b |
| Otoño | 0,35 \pm 0,10 a | 0,24 \pm 0,07 a | 0,46 \pm 0,02 a | 0,48 \pm 0,16 bc | 0,13 \pm 0,02 a | 0,33 \pm 0,05 a |
| Invierno | 0,32 \pm 0,06 a | 0,25 \pm 0,07 a | 0,53 \pm 0,07 ab | 0,35 \pm 0,08 c | 0,14 \pm 0,03 a | 0,32 \pm 0,04 a |
| F _{gl=3} | 1,62 | 2,40 | 12,6 | 128,3 | 4,41 | 25,1 |
| Significación | 0,351 | 0,246 | 0,033 | 0,001 | 0,127 | 0,000 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,47 \pm 0,08 | 0,37 \pm 0,06 | 0,55 \pm 0,08 | 0,55 \pm 0,09 | 0,19 \pm 0,05 | 0,43 \pm 0,04 |
| 2 | 0,27 \pm 0,05 | 0,25 \pm 0,04 | 0,67 \pm 0,12 | 0,66 \pm 0,15 | 0,16 \pm 0,03 | 0,40 \pm 0,05 |
| F _{gl=1} | 18,78 | 2,79 | 2,79 | 18,0 | 0,40 | 0,70 |
| Significación | 0,023 | 0,193 | 0,193 | 0,024 | 0,570 | 0,408 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,37 \pm 0,05 b |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,31 \pm 0,04 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,61 \pm 0,07 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,60 \pm 0,09 a |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,18 \pm 0,03 c |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 31,8 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 2,07 | 0,35 | 3,81 | 6,78 | 0,73 | 2,84 |
| Significación | 0,282 | 0,792 | 0,151 | 0,076 | 0,601 | 0,049 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 1,78 | 1,24 | 0,91 | 0,11 | 0,09 | 0,26 |
| Significación | 0,274 | 0,347 | 0,411 | 0,758 | 0,782 | 0,610 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 3,78 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,010 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,78 | 0,03 | 0,63 | 51,0 | 0,82 | 1,84 |
| Significación | 0,324 | 0,990 | 0,646 | 0,005 | 0,565 | 0,154 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 2,41 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,017 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 4,17 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,006 |
| R ² | 0,963 | 0,842 | 0,950 | 0,996 | 0,875 | 0,882 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.66. Carbono disuelto en extracto saturado (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,12 \pm 0,02 | 0,14 \pm 0,07 | 0,18 \pm 0,02 | 0,15 \pm 0,02 |
| 15-30 cm | 0,06 \pm 0,01 | 0,03 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,00 |
| F _{gl=1} | 13,8 | 48,7 | 98,5 | 105,2 |
| Significación | 0,034 | 0,006 | 0,002 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,06 \pm 0,02 a | 0,06 \pm 0,01 ab | 0,13 \pm 0,05 a | 0,09 \pm 0,02 a |
| Verano | 0,16 \pm 0,04 a | 0,21 \pm 0,14 b | 0,14 \pm 0,04 a | 0,17 \pm 0,05 b |
| Otoño | 0,07 \pm 0,02 a | 0,05 \pm 0,02 a | 0,08 \pm 0,03 a | 0,06 \pm 0,01 a |
| Invierno | 0,06 \pm 0,01 a | 0,04 \pm 0,01 a | 0,11 \pm 0,05 a | 0,07 \pm 0,02 a |
| F _{gl=3} | 5,94 | 12,2 | 3,54 | 15,5 |
| Significación | 0,089 | 0,035 | 0,163 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,09 \pm 0,02 | 0,13 \pm 0,07 | 0,13 \pm 0,03 | 0,12 \pm 0,03 |
| 2 | 0,08 \pm 0,02 | 0,05 \pm 0,01 | 0,10 \pm 0,03 | 0,08 \pm 0,01 |
| F _{gl=1} | 1,69 | 6,12 | 3,68 | 8,66 |
| Significación | 0,285 | 0,090 | 0,151 | 0,007 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,09 \pm 0,02 ab |
| Pinalito | - | - | - | 0,09 \pm 0,04 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,12 \pm 0,02 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 9,30 |
| Significación | - | - | - | 0,001 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,44 | 1,23 | 0,17 | 0,38 |
| Significación | 0,739 | 0,434 | 0,911 | 0,767 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,13 | 0,76 | 0,01 | 0,08 |
| Significación | 0,742 | 0,448 | 0,943 | 0,786 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 3,03 |
| Significación | - | - | - | 0,068 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 0,45 | 3,64 | 0,72 | 0,43 |
| Significación | 0,734 | 0,158 | 0,602 | 0,736 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 1,83 |
| Significación | - | - | - | 0,138 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,26 |
| Significación | - | - | - | 0,773 |
| R ² | 0,923 | 0,973 | 0,975 | 0,896 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

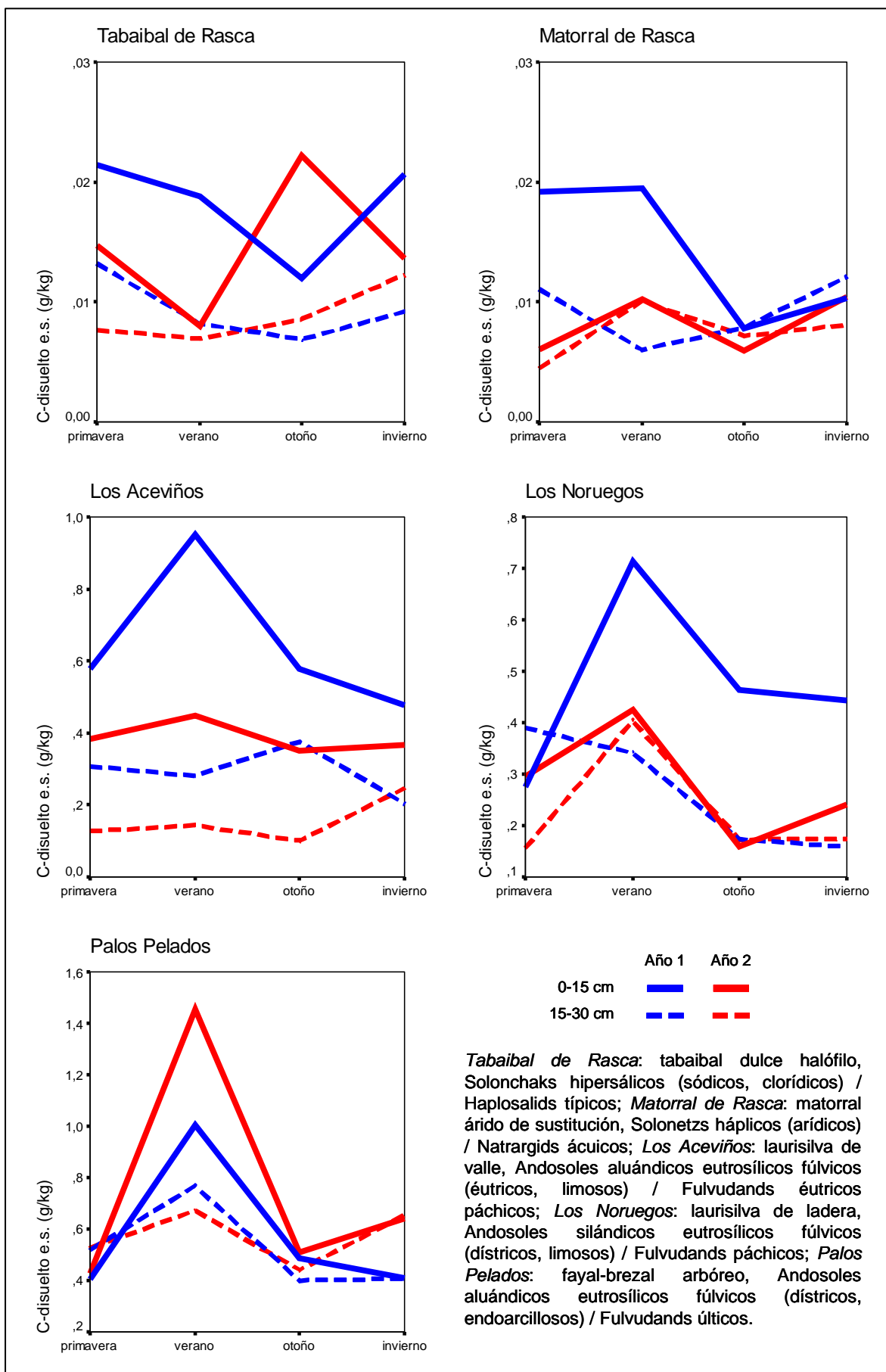


Figura V.28.a. Carbono disuelto en el extracto de saturación (g kg^{-1})

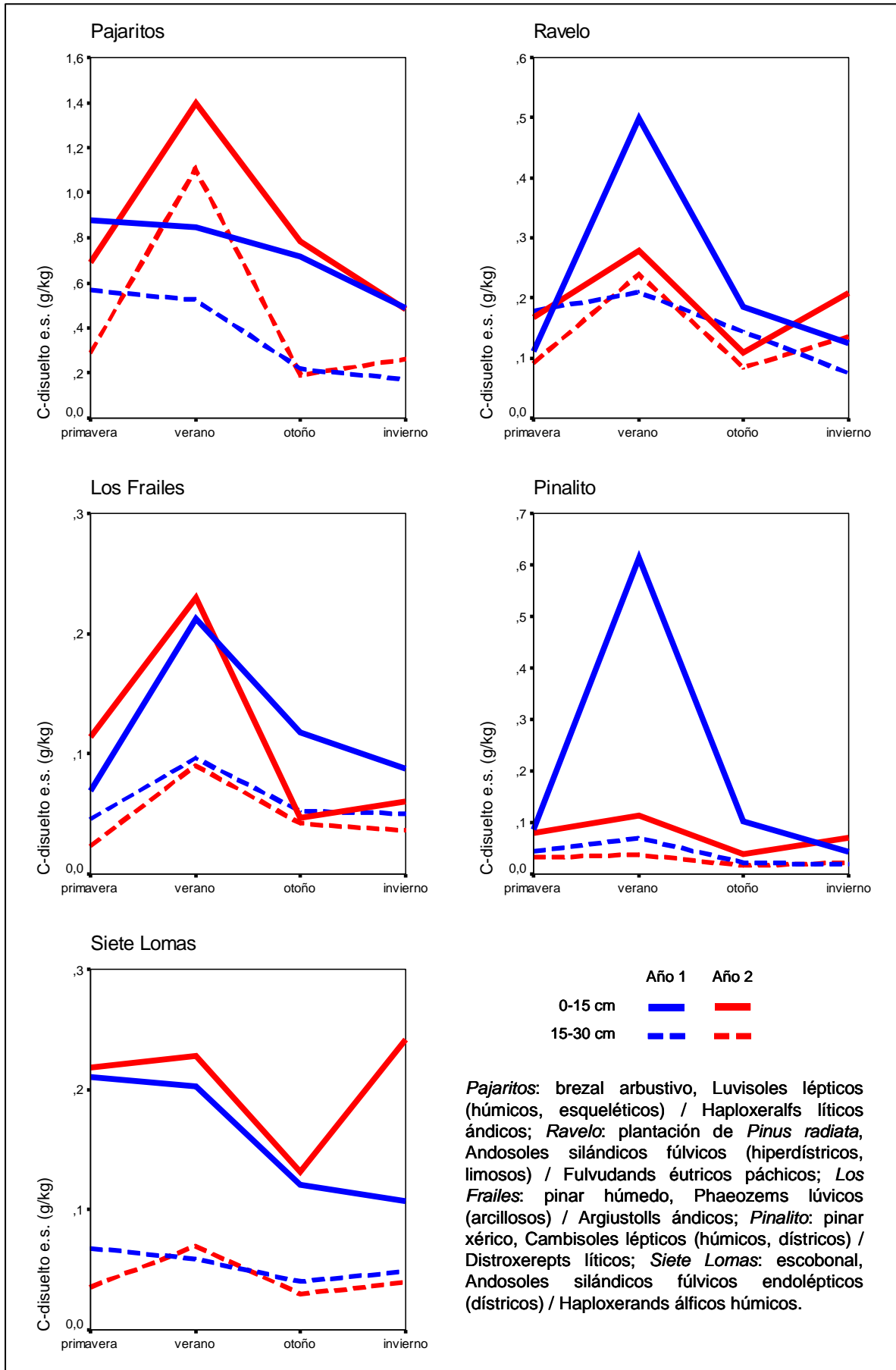


Figura V.28.b. Carbono disuelto en el extracto de saturación (g kg^{-1})

V.4.7. Carbono en forma de bicarbonatos y carbonatos

La mayor parte del carbono inorgánico presente en los suelos está contenido en horizontes cálcicos y petrocálcicos, caracterizados por la acumulación generalizada de carbonatos. En menor proporción, el carbono inorgánico forma acumulaciones filiformes (pseudomicelios), esferoidales (pisolitos, oolitos, nódulos), recubriendo clastos, o difusas (Porta *et al.*, 2003). Las formas de acumulación discontinua son las de mayor reactividad química y participación activa en los flujos de carbono inorgánico en el suelo, que se producen en forma de carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico disueltos en la solución edáfica (Wilding *et al.*, 2006).

| Tabla V.67. Carbono en forma de carbonatos (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,11 \pm 0,02 | 1,14 \pm 0,14 | 0,63 \pm 0,15 |
| 15-30 cm | 0,12 \pm 0,02 | 0,90 \pm 0,09 | 0,51 \pm 0,11 |
| $F_{gl=1}$ | 1,95 | 4,44 | 1,99 |
| Significación | 0,257 | 0,126 | 0,182 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,18 \pm 0,02 a | 0,93 \pm 0,15 a | 0,56 \pm 0,16 a |
| Verano | 0,11 \pm 0,01 b | 1,09 \pm 0,08 a | 0,60 \pm 0,19 a |
| Otoño | 0,06 \pm 0,01 c | 1,15 \pm 0,26 a | 0,61 \pm 0,24 a |
| Invierno | 0,12 \pm 0,04 b | 0,90 \pm 0,18 a | 0,51 \pm 0,17 a |
| $F_{gl=3}$ | 102,4 | 1,13 | 0,28 |
| Significación | 0,002 | 0,462 | 0,842 |
| Año | | | |
| 1 | 0,12 \pm 0,02 | 1,03 \pm 0,10 | 0,58 \pm 0,13 |
| 2 | 0,11 \pm 0,02 | 1,00 \pm 0,14 | 0,56 \pm 0,13 |
| $F_{gl=1}$ | 1,87 | 0,07 | 0,05 |
| Significación | 0,265 | 0,810 | 0,830 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,12 \pm 0,02 |
| Matorral de Rasca | - | - | 1,02 \pm 0,08 |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 116,4 |
| Significación | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | |
| $F_{gl=3}$ | 87,1 | 2,62 | 1,25 |
| Significación | 0,002 | 0,225 | 0,333 |
| Profundidad x Año | | | |
| $F_{gl=1}$ | 5,90 | 2,51 | 1,34 |
| Significación | 0,093 | 0,211 | 0,267 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 2,22 |
| Significación | - | - | 0,160 |
| Estación x Año | | | |
| $F_{gl=3}$ | 2,39 | 3,61 | 1,76 |
| Significación | 0,247 | 0,160 | 0,205 |
| Estación x Parcela | | | |
| $F_{gl=3}$ | - | - | 0,96 |
| Significación | - | - | 0,442 |
| Año x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,02 |
| Significación | - | - | 0,890 |
| R^2 | 0,995 | 0,906 | 0,912 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Determinamos el carbono en forma de carbonato cálcico equivalente (caliza activa) y bicarbonatos solubles (medido en extractos saturados de suelo) sólo en los suelos de la zona costera, al ser los únicos con presencia significativa de carbono en formas inorgánicas.

El contenido de carbonatos es considerablemente mayor en los suelos de *Matorral de Rasca* que en *Tabaibal de Rasca* (Tabla V.67; Figura V.29). No se encontraron variaciones interanuales. Los valores más altos se dan en los meses de primavera, intermedios en verano e invierno, y mínimos en otoño. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de carbonatos con la profundidad, pero sí una tendencia a su redistribución en el perfil del suelo según la estación del año.

| Tabla V.68. Carbono en forma de bicarbonatos (g kg^{-1}) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,272 \pm 0,024 | 0,202 \pm 0,019 | 0,237 \pm 0,017 |
| 15-30 cm | 0,179 \pm 0,024 | 0,148 \pm 0,006 | 0,164 \pm 0,013 |
| $F_{gl=1}$ | 4,22 | 12,1 | 11,1 |
| Significación | 0,132 | 0,040 | 0,005 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,277 \pm 0,038 a | 0,181 \pm 0,031 a | 0,229 \pm 0,029 a |
| Verano | 0,172 \pm 0,033 a | 0,201 \pm 0,031 a | 0,186 \pm 0,021 a |
| Otoño | 0,232 \pm 0,047 a | 0,151 \pm 0,006 a | 0,192 \pm 0,027 a |
| Invierno | 0,221 \pm 0,042 a | 0,168 \pm 0,023 a | 0,194 \pm 0,024 a |
| $F_{gl=3}$ | 0,91 | 1,41 | 0,71 |
| Significación | 0,529 | 0,392 | 0,561 |
| Año | | | |
| 1 | 0,246 \pm 0,029 | 0,179 \pm 0,022 | 0,212 \pm 0,019 |
| 2 | 0,205 \pm 0,029 | 0,172 \pm 0,012 | 0,189 \pm 0,016 |
| $F_{gl=1}$ | 0,80 | 0,24 | 0,71 |
| Significación | 0,437 | 0,661 | 0,414 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,225 \pm 0,020 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,175 \pm 0,012 |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 1,34 |
| Significación | - | - | 0,267 |
| Profundidad x Estación | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,26 | 2,44 | 0,55 |
| Significación | 0,850 | 0,242 | 0,658 |
| Profundidad x Año | | | |
| $F_{gl=1}$ | 0,01 | 0,24 | 0,02 |
| Significación | 0,941 | 0,661 | 0,895 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,58 |
| Significación | - | - | 0,462 |
| Estación x Año | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,19 | 2,93 | 1,74 |
| Significación | 0,895 | 0,200 | 0,208 |
| Estación x Parcela | | | |
| $F_{gl=3}$ | - | - | 1,96 |
| Significación | - | - | 0,170 |
| Año x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 1,45 |
| Significación | - | - | 0,250 |
| R^2 | 0,753 | 0,916 | 0,698 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

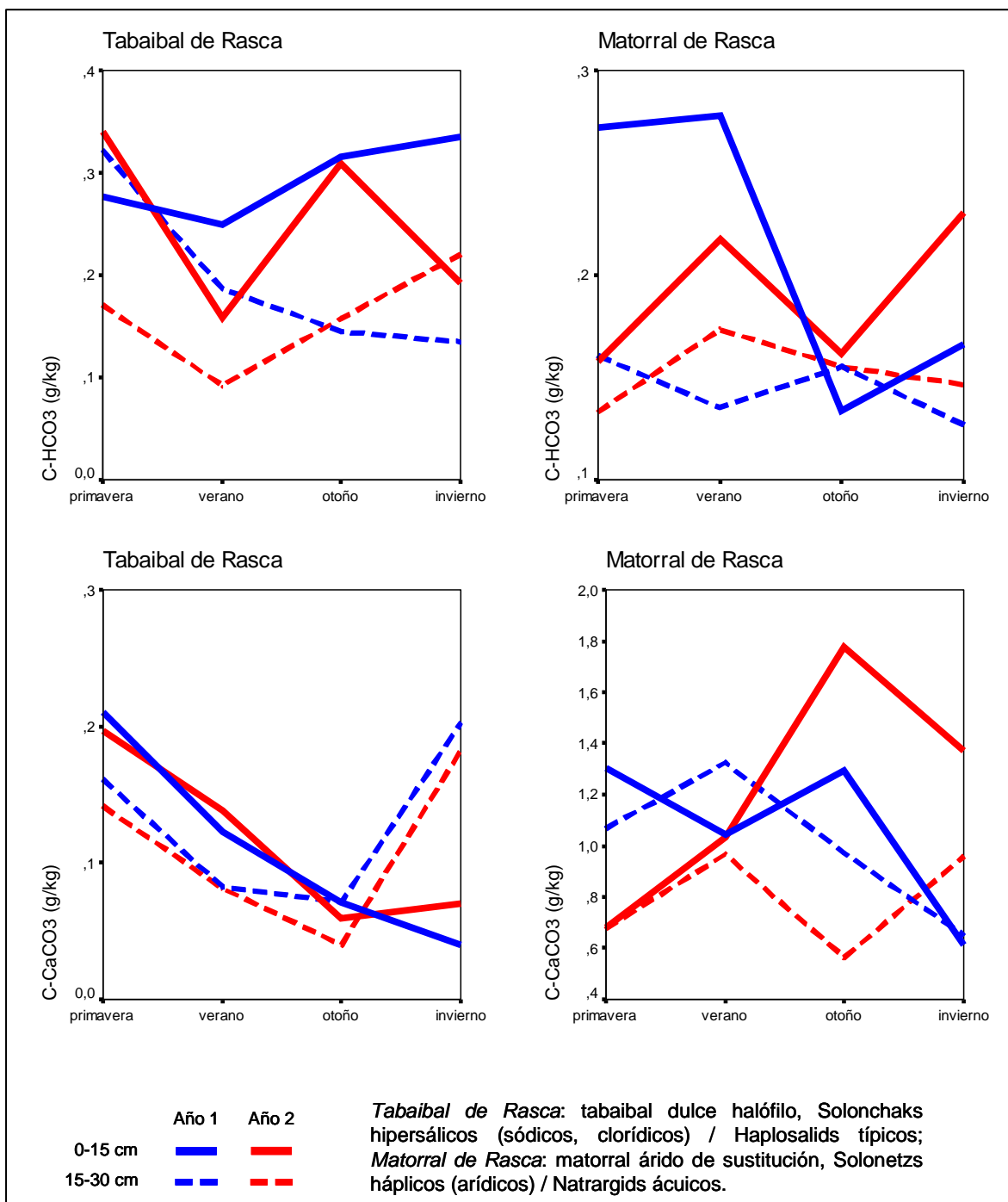


Figura V.29. Carbono en forma de bicarbonatos disueltos y de carbonato cálcico equivalente en los suelos de la zona costera

Así, en los suelos de *Tabaiabal de Rasca*, los mayores valores a 15-30 cm de profundidad se dan en invierno, coincidiendo con los más bajos en superficie (0-15 cm). En primavera, el contenido de carbonatos aumenta mucho a 0-15 cm, mientras que disminuye sólo un poco a 15-30 cm, indicando un ascenso capilar de carbonatos que proceden al menos en parte de horizontes más profundos (> 30 cm). Durante el verano y el otoño, los contenidos de carbonatos descienden en ambas profundidades, para volver a ascender a 15-30 cm con las primeras lluvias. Este comportamiento evidencia una estrecha relación del contenido de carbonato cálcico con el

estado de humedad del suelo, ascendiendo y descendiendo en el perfil acompañando al frente de humectación.

En los suelos de *Matorral de Rasca* las variaciones en el contenido de carbonatos son mucho menores. La presencia de un horizonte B_t fuertemente compactado (ver Sección III.3) restringe los flujos con los horizontes más profundos del suelo, y circunscribe el movimiento capilar de los carbonatos a los primeros 20-30 cm del suelo. En dicho espesor, los carbonatos ascienden y descienden según la estación del año, observándose una correlación negativa entre los contenidos a 0-15 cm y 15-30 cm: el mayor contenido de 15 a 30 cm se da a comienzo de verano, pero se desplaza a superficie a final de verano, para descender bruscamente con las primeras lluvias.

Por su parte, el contenido de bicarbonatos solubles no varía significativamente entre los suelos de ambas parcelas, se concentra especialmente en superficie (0-15 cm), y no muestra variaciones estacionales regulares, ni interanuales (Tabla V.68; Figura V.29).

V.5. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

El funcionamiento de los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica en el suelo puede ser descrito a través de parámetros bioquímicos indicadores de su actividad metabólica. Algunos de estos parámetros, como la respiración del suelo o la actividad de las enzimas respiratorias como la deshidrogenasa, se conocen como *parámetros generales*, en tanto que informan de manera global del desarrollo de los procesos microbianos que se producen en el suelo. Otros, como las actividades de las distintas enzimas hidrolíticas, se consideran *parámetros específicos*, ya que estudian la funcionalidad del suelo en relación a reacciones concretas y determinados sustratos (Nannipieri *et al.*, 1990). En esta sección tratamos tanto parámetros generales (respiración del suelo medida en condiciones de campo y en el laboratorio, flujo de C-CO₂, actividad deshidrogenasa) como específicos directamente relacionados con los procesos de ciclado del carbono (actividad carboximetil-celulasa, actividad β-D-glucosidasa), estudiando su variación estacional, interanual y con la profundidad del suelo. Los datos brutos se detallan en las Tablas X.30-X.36 (Anexos).

Los principales gradientes pueden visualizarse mediante un Análisis de Componentes Principales (Figura V.30). El componente I (54% de varianza explicada) aparece ligado a la variación de las actividades enzimáticas CM-celulasa, β-D-glucosidasa y deshidrogenasa, y a la respiración en incubación, todos ellos medidas de actividad biológica potencial obtenidas en condiciones óptimas en el laboratorio. A lo largo de este eje se distribuyen, en orden creciente de dinamismo bioquímico, las muestras de los tres ecosistemas estudiados: costero, montano seco y montano húmedo; y en función de su profundidad: 15-30 cm y 0-15 cm.

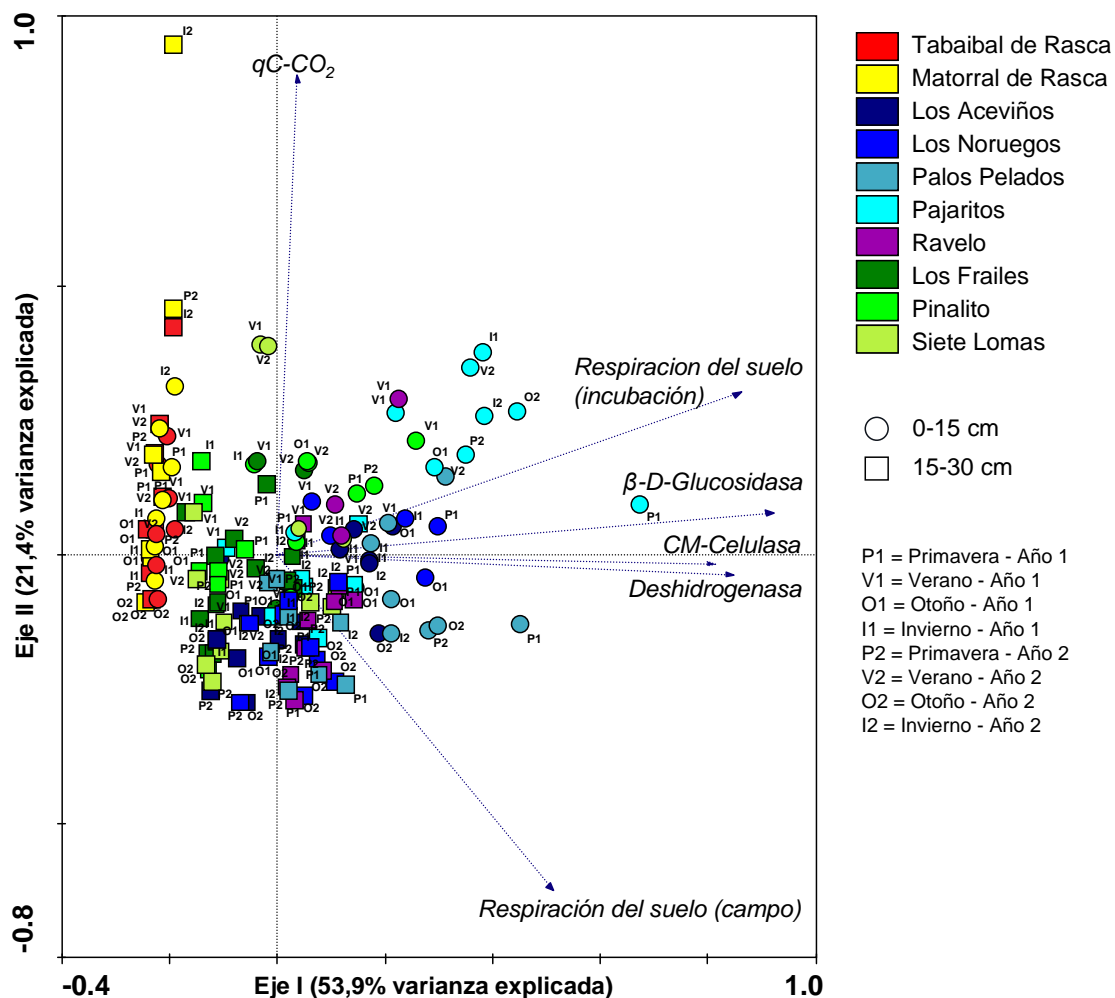


Figura V.30. Análisis de Componentes Principales de la actividad biológica del suelo

El componente II (21% de varianza explicada) se correlaciona positivamente con el flujo de CO_2 , indicador de la actividad respiratoria relativa de la biomasa microbiana, y negativamente con la respiración medida en el campo. De este modo, los suelos con menor tasa respiratoria muestran, sin embargo, una biomasa comparativamente más activa. La mayor parte de los suelos estudiados tienden a mostrar mayores puntuaciones en el eje II en las muestras de 0-15 cm, reflejo de una microbiota más activa en superficie que en profundidad. La principal excepción la constituyen los suelos del ecosistema costero, donde los valores máximos de flujo de CO_2 se dan a 15-30 cm de profundidad.

V.5.1. Respiración del suelo en el campo

i) ZONA COSTERA

La respiración del suelo medida en campo en los suelos de la zona costera es mayor en la parcela *Matorral de Rasca* (Tabla V.69; Figura V.31.a). Se observa un patrón estacional, con valores más altos en invierno, intermedios en primavera y verano, y mínimo en los meses de

otoño, y un incremento en la respiración de los suelos de *Tabaibal de Rasca* en el segundo año de seguimiento.

| Tabla V.69. Respiración del suelo en el campo (mg C-CO ₂ m ⁻² h ⁻¹ ; 24 h) (media ± e. t.) en la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|----------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Estación | | | |
| Primavera | 8,07 ± 0,97 ab | 9,93 ± 0,40 a | 9,00 ± 0,69 ab |
| Verano | 8,02 ± 1,99 ab | 9,98 ± 1,80 a | 9,00 ± 1,23 ab |
| Otoño | 6,21 ± 1,37 a | 8,39 ± 0,32 a | 7,30 ± 0,85 a |
| Invierno | 11,1 ± 2,66 b | 10,3 ± 0,81 a | 10,7 ± 1,16 b |
| F _{gl=3} | 14,4 | 1,06 | 15,6 |
| Significación | 0,027 | 0,482 | 0,025 |
| Año | | | |
| 1 | 6,59 ± 0,76 | 9,03 ± 0,55 | 7,81 ± 0,63 |
| 2 | 10,1 ± 1,31 | 10,3 ± 0,71 | 10,2 ± 0,69 |
| F _{gl=1} | 47,0 | 2,02 | 46,0 |
| Significación | 0,006 | 0,250 | 0,007 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 8,34 ± 0,96 |
| Matorral de Rasca | - | - | 9,66 ± 0,48 |
| F _{gl=1} | - | - | 14,1 |
| Significación | - | - | 0,033 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 4,70 |
| Significación | - | - | 0,118 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 3,81 |
| Significación | - | - | 0,151 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 10,1 |
| Significación | - | - | 0,050 |
| R ² | 0,968 | 0,634 | 0,734 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p<0,05) | | | |

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Las tasas respiratorias más altas se dan en los suelos de *Los Noruegos*, y las más bajas en *Pajaritos* (Tabla V.70; Figura V.31). Los resultados obtenidos revelan un patrón estacional muy regular, con valores mínimos en verano, intermedios en invierno y máximos en primavera y otoño, sin que se detecten diferencias interanuales.

iii) ZONA MONTANA SECA

Los resultados obtenidos no muestran diferencias significativas en la respiración de los distintos suelos de este ecosistema (Tabla V.71; Figura V.31.b). Sí se observa un patrón estacional claro, con valores menores en los meses de verano con respecto al resto del año, y un aumento de la tasa respiratoria en el segundo año de seguimiento.

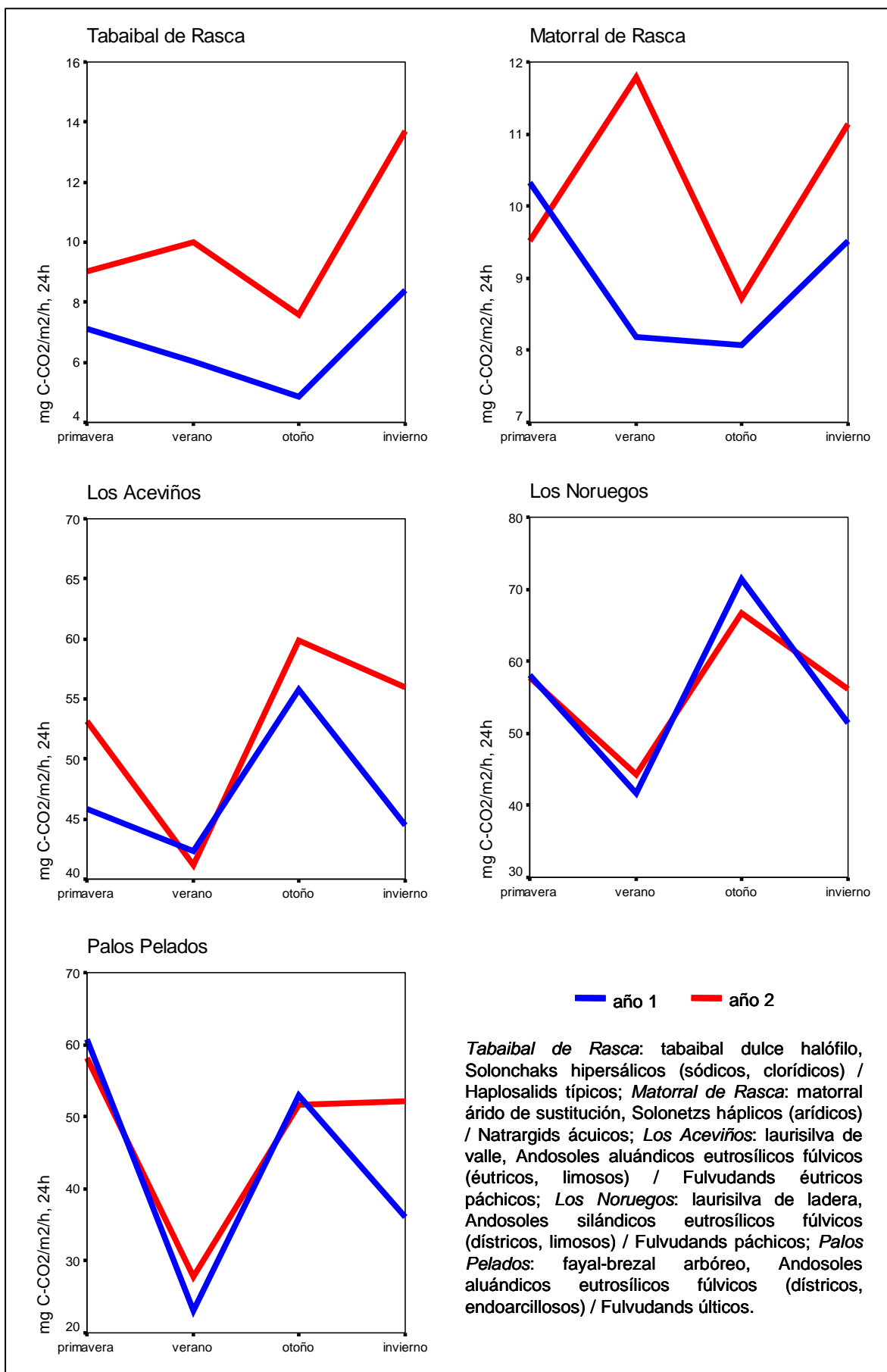


Figura V.31.a. Respiración del suelo en el campo

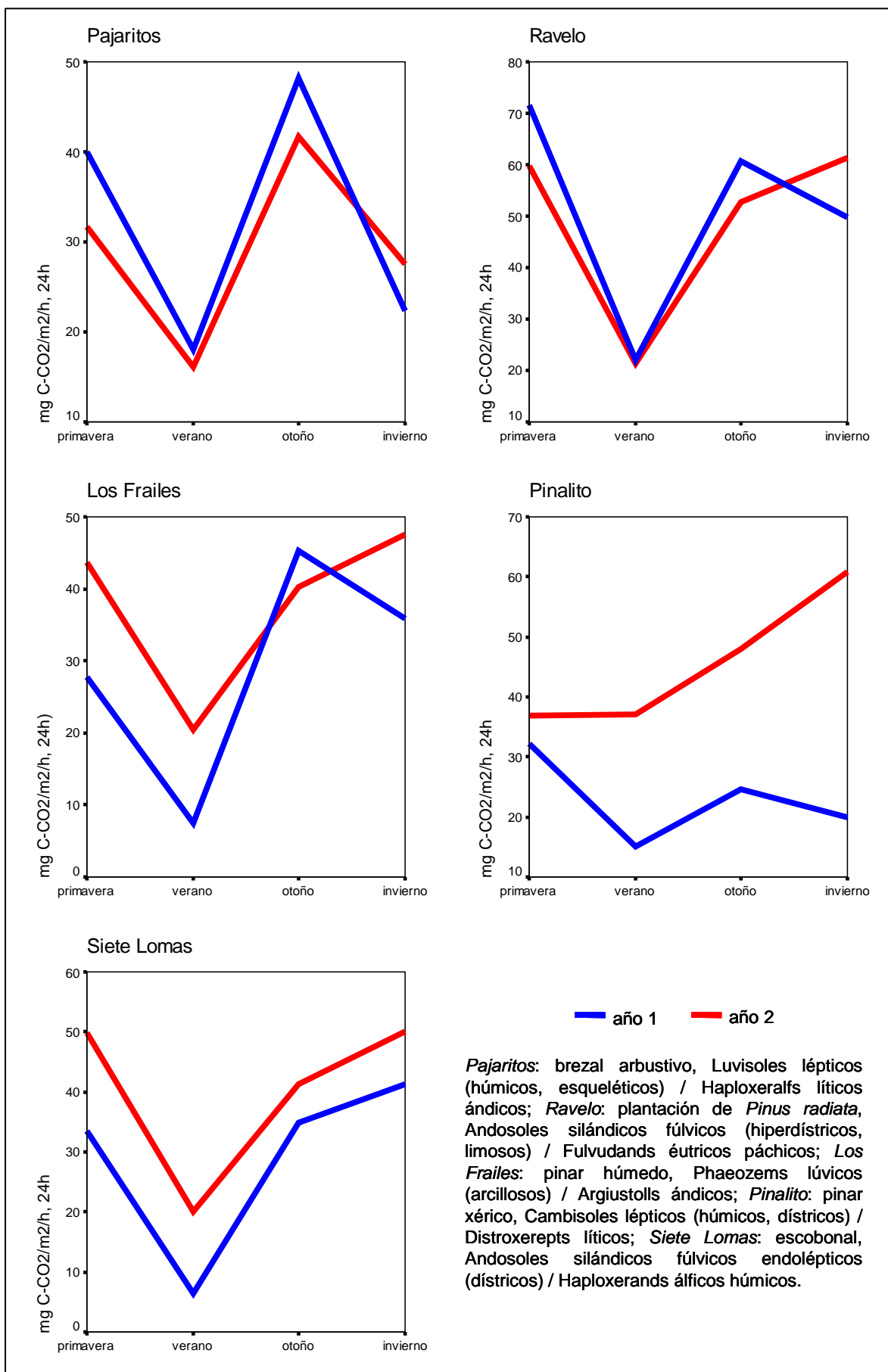


Figura V.31.b. Respiración del suelo en el campo

| Tabla V.70. Respiración del suelo en el campo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; 24 h) (media \pm e. t.) en la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 49,5 \pm 3,66 a | 57,9 \pm 0,22 ab | 59,4 \pm 1,29 a | 35,8 \pm 4,20 a | 65,8 \pm 5,89 a | 53,7 \pm 3,65 a |
| Verano | 41,7 \pm 0,57 a | 43,0 \pm 1,35 c | 25,4 \pm 2,37 b | 17,1 \pm 0,97 b | 21,7 \pm 0,38 b | 29,8 \pm 3,56 c |
| Otoño | 57,8 \pm 2,04 a | 69,0 \pm 2,31 a | 52,3 \pm 0,65 ab | 44,9 \pm 3,28 a | 56,7 \pm 3,95 ab | 56,2 \pm 2,77 a |
| Invierno | 50,2 \pm 5,76 a | 53,8 \pm 2,37 bc | 44,1 \pm 8,02 ab | 24,9 \pm 2,64 ab | 55,5 \pm 5,81 ab | 45,7 \pm 4,11 b |
| F _{gl=3} | 6,05 | 27,9 | 11,9 | 19,6 | 14,2 | 160,3 |
| Significación | 0,087 | 0,011 | 0,036 | 0,018 | 0,028 | 0,000 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 47,1 \pm 2,98 | 55,6 \pm 6,23 | 43,2 \pm 8,46 | 32,1 \pm 7,16 | 51,0 \pm 10,6 | 45,8 \pm 3,51 |
| 2 | 52,5 \pm 4,03 | 56,2 \pm 4,60 | 47,4 \pm 6,71 | 29,2 \pm 5,28 | 48,8 \pm 9,36 | 46,8 \pm 3,29 |
| F _{gl=1} | 4,17 | 0,08 | 0,99 | 0,30 | 0,18 | 1,20 |
| Significación | 0,134 | 0,791 | 0,393 | 0,621 | 0,697 | 0,295 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 49,8 \pm 2,54 b |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 55,9 \pm 3,59 a |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 45,3 \pm 5,06 b |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 30,7 \pm 4,15 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 49,9 \pm 6,58 b |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 82,1 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | - | - | - | - | - | 10,7 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,001 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 10,8 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 3,16 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,054 |
| R ² | 0,882 | 0,965 | 0,925 | 0,952 | 0,934 | 0,988 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

Es preciso señalar que la medida de la respiración por el método seguido conduce, según diversos autores (Wanner, 1970; Kucera & Kirkham, 1971; Hernández & García, 2003) a una subestimación de los valores de respiración en los suelos donde el flujo de CO_2 es más elevado, debido a que la velocidad de absorción del álcali es demasiado baja.

La respiración del suelo en el campo alcanzó sus valores más altos en las parcelas del monteverde, intermedios en el pinar, y los más bajos en el matorral costero. En todos los casos las menores tasas respiratorias se dieron en la estación más seca (verano u otoño). La Figura V.32 representa la correlación existente entre el contenido de humedad del suelo (0-15 cm) y la respiración medida en el campo. Los resultados muestran una correlación positiva entre ambas variables, que concuerda con lo referido por numerosos autores que consideran a la humedad del suelo como el factor más importante que afecta al proceso de respiración (Anderson, 1991; Peterjohn *et al.*, 1994; Conant *et al.*, 1998, 2000; Hernández & García, 2003; Ramírez & Moreno, 2008).

| Tabla V.71. Respiración del suelo en el campo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; 24 h) (media \pm e. t.) en la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Estación | | | | |
| Primavera | 35,7 \pm 7,95 a | 34,5 \pm 2,26 a | 41,7 \pm 8,15 a | 37,3 \pm 3,31 a |
| Verano | 14,0 \pm 6,48 a | 26,0 \pm 11,0 a | 13,2 \pm 6,78 b | 17,8 \pm 4,56 b |
| Otoño | 42,8 \pm 2,56 a | 36,3 \pm 11,7 a | 38,1 \pm 3,23 a | 39,1 \pm 3,44 a |
| Invierno | 41,8 \pm 5,84 a | 40,4 \pm 20,5 a | 45,7 \pm 4,36 a | 42,6 \pm 5,71 a |
| F _{gl=3} | 8,01 | 0,70 | 42,6 | 12,0 |
| Significación | 0,061 | 0,611 | 0,006 | 0,006 |
| Año | | | | |
| 1 | 29,1 \pm 8,05 | 22,9 \pm 3,67 | 29,1 \pm 7,72 | 27,0 \pm 3,65 |
| 2 | 38,0 \pm 6,03 | 45,7 \pm 5,71 | 40,3 \pm 7,07 | 41,3 \pm 3,43 |
| F _{gl=1} | 3,49 | 10,5 | 25,2 | 19,6 |
| Significación | 0,158 | 0,048 | 0,015 | 0,004 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 33,6 \pm 4,95 a |
| Pinalito | - | - | - | 34,3 \pm 5,32 a |
| Siete Lomas | - | - | - | 34,7 \pm 5,29 a |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,04 |
| Significación | - | - | - | 0,961 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | - | - | - | 0,66 |
| Significación | - | - | - | 0,607 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 0,90 |
| Significación | - | - | - | 0,552 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 1,76 |
| Significación | - | - | - | 0,250 |
| R ² | 0,902 | 0,808 | 0,981 | 0,917 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | |

Se considera como el contenido óptimo el próximo a la capacidad de campo del suelo, con la macroporosidad ocupada por aire y la microporosidad por agua, facilitando así la difusión de los sustratos solubles (Oberbauer *et al.*, 1992; Davidson *et al.*, 2000). Según Linn & Doran (1984) la disminución de la tasa respiratoria por encima y debajo del óptimo de humedad del suelo se debe sobre todo a la baja difusión de oxígeno en suelos encharcados con la porosidad ocupada por agua y no por aire, y a la escasez de sustratos orgánicos solubles en suelos muy secos, respectivamente.

Algunos autores señalan una correlación positiva entre las tasas respiratorias y los aportes de hojarasca (Gallardo & Schlesinger, 1994; Hogberg & Ekblad, 1996; Raich & Tufekcioglu, 2000; Schlesinger & Andrews, 2000). Dicha correlación puede observarse en los suelos estudiados ($r=0,450$, $p=0,0000$), pero parece tratarse de una relación casual al coincidir los mayores aportes con los suelos más húmedos, tal y como se evidencia al estudiar la influencia conjunta de ambos factores (humedad del suelo y desfronde) sobre la respiración (Figura V.33).

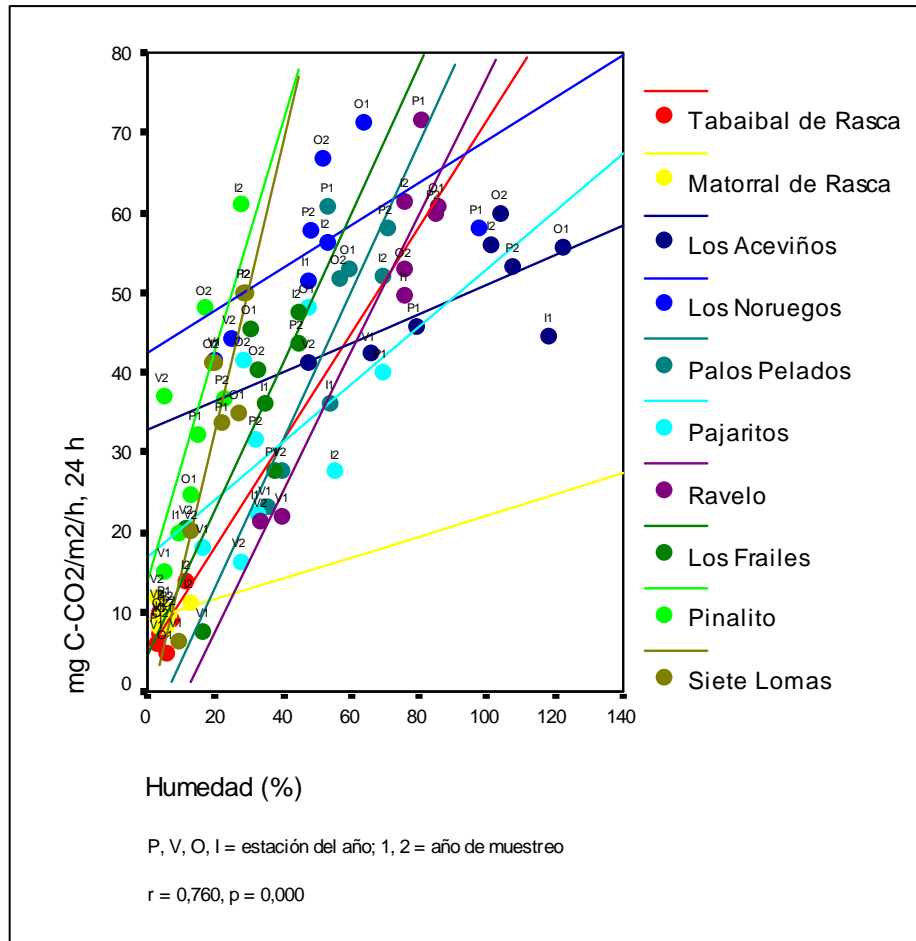


Figura V.32. Correlación entre la respiración del suelo en el campo y la humedad

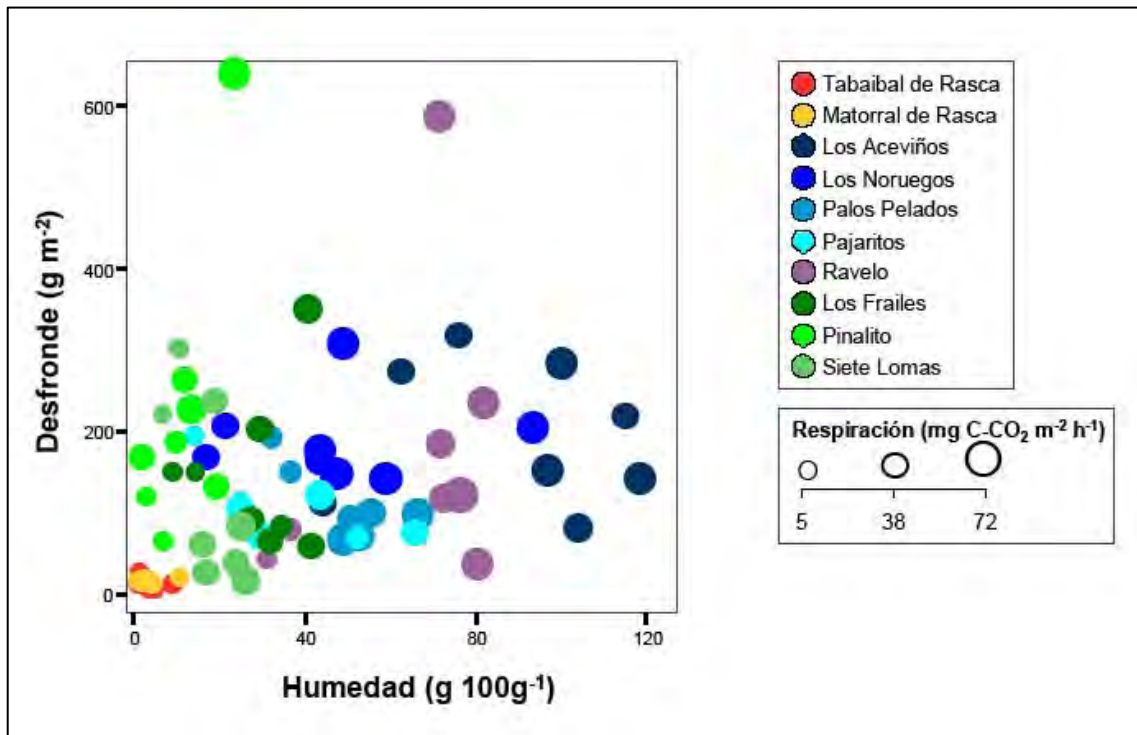


Figura V.33. Correlación de la humedad del suelo y el desfronde con la respiración del suelo en el campo

Tradicionalmente se ha asociado también una temperatura elevada a una mayor tasa respiratoria del suelo (Davidson *et al.*, 2000), pero sólo cuando la humedad del suelo es elevada (Wildung *et al.*, 1975, Conant *et al.*, 1998, 2000). Otros factores que influyen en la respiración del suelo son la disponibilidad de nutrientes, la estructura del suelo y las prácticas agrícolas (Seto & Yanagiya, 1983; Boudot *et al.* 1986; Coxon & Parkinson, 1987; Amundson *et al.*, 1989; Peterjohn *et al.*, 1994; Conant *et al.*, 1998).

El CO₂ emitido en el campo es un indicador de la actividad biológica global de los suelos, que incluye principalmente a la microbiota y fauna edáficas y a las raíces (Hernández & García, 2003), contribuyendo cada una en una proporción variable. Para el caso de las raíces, la revisión de Hanson *et al.* (2000) establece una contribución general de las mismas a la respiración global del suelo del 40-50%, con promedios de 49% y 37% para ecosistemas forestales y no-forestales, respectivamente. Por su parte, Raich & Tufekcioglu (2000) recopilan los valores de dicha proporción en diferentes ecosistemas: en biomas fríos, oscila entre 50-93% en la tundra ártica y 62-89% en bosques boreales; en las zonas templadas el rango de variación es de 33-50% en bosques de frondosas, 35-62% en pinares y 17-40% en pastos; la contribución más baja de las raíces a la respiración del suelo se da en zonas de cultivo, entre 12-38%.

En territorios de origen volcánico, una porción del CO₂ emitido por el suelo puede también deberse a una emisión difusa de este gas relacionada con la actividad volcánica remanente del terreno, especialmente cuando la zona se ha visto afectada por erupciones recientes. En las Islas Canarias existen manifestaciones de volcanismo reciente en todas las islas del archipiélago, con excepción de La Gomera, y cuatro de ellas (Tenerife, La Palma, El Hierro y Lanzarote) han albergado erupciones en los últimos 500 años (Carracedo, 1984).

Padrón (2008) estudió el origen de las emisiones de CO₂ en el área de Cumbre Vieja (La Palma), una de las zonas volcánicas más activas del Archipiélago, a través de la determinación de la composición isotópica del carbono en el CO₂ (expresada como $\delta^{13}\text{C}$), y concluyó que dichas emisiones eran fundamentalmente de carácter biogénico, y sólo en muy menor medida de origen volcánico y atmosférico. Considerando la localización de nuestros suelos en zonas de volcanismo mucho menos activo (o incluso inactivo desde hace mucho tiempo en La Gomera), podemos descartar una participación significativa del CO₂ geológico en las emisiones aquí analizadas, que podemos atribuir en su práctica totalidad a la actividad de la microbiota y fauna edáfica y a la respiración de las raíces.

V.5.2. Respiración del suelo en el laboratorio

i) ZONA COSTERA

Los suelos del ecosistema costero muestran los valores más bajos de respiración en incubación (Tabla V.72; Figura V.34.a) y, sin embargo, los más altos en relación a su biomasa (Tabla V.73; Figura V.35.a), reflejo de una microbiota escasa pero potencialmente muy activa. Los resultados de respiración obtenidos son mayores en los meses de invierno y primavera, intermedios en verano y menores en otoño, y no muestran diferencias entre los suelos estudiados en este ecosistema, en relación a la profundidad o al año de muestreo. El flujo

relativo de CO₂ también muestra un patrón estacional definido, con valores máximos estival e invernal, medios en primavera y mínimos en otoño, y tiende a ser más alto entre 15 y 30 cm y durante el segundo año de seguimiento.

| Tabla V.72. Respiración del suelo en el laboratorio (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹ , 10 días) (media ± e.t) en la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|----------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 6,77 ± 1,12 | 9,64 ± 2,21 | 8,20 ± 1,25 |
| 15-30 cm | 7,33 ± 1,48 | 7,26 ± 1,52 | 7,29 ± 1,03 |
| F _{gl=1} | 0,17 | 0,93 | 0,52 |
| Significación | 0,705 | 0,405 | 0,482 |
| Estación | | | |
| Primavera | 8,09 ± 0,56 a | 9,83 ± 3,28 a | 8,96 ± 1,57 a |
| Verano | 7,31 ± 2,05 a | 7,52 ± 1,96 a | 7,42 ± 1,31 ab |
| Otoño | 3,44 ± 1,03 a | 3,78 ± 0,89 a | 3,61 ± 0,63 b |
| Invierno | 9,35 ± 2,04 a | 12,7 ± 2,46 a | 11,0 ± 1,61 a |
| F _{gl=3} | 3,60 | 2,33 | 6,19 |
| Significación | 0,161 | 0,253 | 0,008 |
| Año | | | |
| 1 | 7,91 ± 0,91 | 8,91 ± 1,42 | 8,41 ± 0,82 |
| 2 | 6,19 ± 1,56 | 7,99 ± 2,35 | 7,09 ± 1,38 |
| F _{gl=1} | 1,64 | 0,14 | 1,11 |
| Significación | 0,290 | 0,733 | 0,312 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 7,05 ± 0,90 |
| Matorral de Rasca | - | - | 8,45 ± 1,33 |
| F _{gl=1} | - | - | 1,25 |
| Significación | - | - | 0,284 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,25 | 0,96 | 0,73 |
| Significación | 0,856 | 0,512 | 0,551 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,29 | 1,07 | 1,69 |
| Significación | 0,629 | 0,376 | 0,216 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 1,37 |
| Significación | - | - | 0,264 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 3,44 | 0,86 | 3,20 |
| Significación | 0,169 | 0,548 | 0,059 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 0,33 |
| Significación | - | - | 0,802 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,10 |
| Significación | - | - | 0,755 |
| R ² | 0,889 | 0,829 | 0,742 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

| Tabla V.73. Flujo de C-CO ₂ (días ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|---|-------------------|-------------------|----------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,04 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 |
| 15-30 cm | 0,06 ± 0,02 | 0,09 ± 0,04 | 0,07 ± 0,02 |
| F _{gl=1} | 0,99 | 0,80 | 3,78 |
| Significación | 0,394 | 0,466 | 0,074 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,06 ± 0,01 a | 0,08 ± 0,03 a | 0,07 ± 0,02 ab |
| Verano | 0,07 ± 0,01 a | 0,08 ± 0,01 a | 0,07 ± 0,01 b |
| Otoño | 0,01 ± 0,01 a | 0,01 ± 0,01 a | 0,01 ± 0,01 a |
| Invierno | 0,06 ± 0,03 a | 0,12 ± 0,06 a | 0,09 ± 0,04 b |
| F _{gl=3} | 2,32 | 0,64 | 6,19 |
| Significación | 0,254 | 0,658 | 0,008 |
| Año | | | |
| 1 | 0,05 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 |
| 2 | 0,05 ± 0,02 | 0,09 ± 0,04 | 0,07 ± 0,02 |
| F _{gl=1} | 0,24 | 0,82 | 3,45 |
| Significación | 0,661 | 0,462 | 0,086 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,05 ± 0,01 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,07 ± 0,02 |
| F _{gl=1} | - | - | 2,80 |
| Significación | - | - | 0,118 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,67 | 0,54 | 2,03 |
| Significación | 0,625 | 0,700 | 0,159 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 0,52 | 1,36 | 3,47 |
| Significación | 0,523 | 0,364 | 0,085 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,48 |
| Significación | - | - | 0,502 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 2,29 | 1,96 | 6,78 |
| Significación | 0,257 | 0,338 | 0,005 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 1,27 |
| Significación | - | - | 0,325 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 1,55 |
| Significación | - | - | 0,235 |
| R ² | 0,854 | 0,855 | 0,832 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Las tasas de respiración en el laboratorio de los suelos del monte verde son muy elevadas, especialmente en la parcela *Pajaritos*, cuyos valores de respiración son los más altos entre todos los suelos estudiados. La actividad respiratoria es mayor en verano e invierno que en primavera, y se concentra en los primeros 15 cm de profundidad (Tabla V.74; Figura V.34). Las variaciones interanuales de la respiración revelan tendencias distintas según el caso. Los suelos de *Los Noruegos* y *Ravelo* presentan tasas de respiración menores en el segundo año de

muestreo. *Los Aceviños, Palos Pelados y Pajaritos* no muestran cambios interanuales significativos, aunque en *Pajaritos* se observa una tendencia al aumento en los primeros 15 cm que concuerda con la variación observada en su contenido de carbono (Sección V.4.1.ii).

| Tabla V.74. Respiración del suelo en el laboratorio ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$, 10 días) (media \pm e. t.) en la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 91,9 \pm 9,86 | 84,9 \pm 11,3 | 83,4 \pm 9,63 | 167,9 \pm 11,1 | 73,6 \pm 7,62 | 100,3 \pm 6,93 |
| 15-30 cm | 27,1 \pm 4,45 | 35,6 \pm 5,48 | 31,2 \pm 3,24 | 42,1 \pm 5,66 | 37,6 \pm 6,15 | 34,7 \pm 2,32 |
| $F_{\text{gl}=1}$ | 30,0 | 41,4 | 44,6 | 762,6 | 76,4 | 212,3 |
| Significación | 0,012 | 0,008 | 0,007 | 0,000 | 0,003 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 37,6 \pm 9,80 a | 55,6 \pm 2,56 a | 42,4 \pm 13,3 a | 85,3 \pm 28,4 a | 59,3 \pm 13,6 a | 56,1 \pm 8,68 a |
| Verano | 59,7 \pm 19,8 a | 61,2 \pm 14,7 a | 77,5 \pm 26,1 a | 129,2 \pm 41,9 b | 54,0 \pm 19,1 a | 76,3 \pm 12,2 b |
| Otoño | 69,4 \pm 27,2 a | 61,0 \pm 21,6 a | 52,1 \pm 12,7 a | 96,4 \pm 39,2 a | 50,7 \pm 13,0 a | 65,9 \pm 10,6 ab |
| Invierno | 71,1 \pm 21,8 a | 63,3 \pm 14,2 a | 57,1 \pm 12,4 a | 109,1 \pm 39,2 ab | 58,5 \pm 12,0 a | 71,8 \pm 9,95 b |
| $F_{\text{gl}=3}$ | 1,37 | 1,58 | 2,91 | 16,8 | 0,96 | 4,54 |
| Significación | 0,402 | 0,358 | 0,202 | 0,022 | 0,513 | 0,008 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 63,6 \pm 14,3 | 79,0 \pm 13,1 | 55,2 \pm 9,81 | 98,3 \pm 22,1 | 66,1 \pm 9,84 | 72,4 \pm 6,62 |
| 2 | 55,3 \pm 14,4 | 41,5 \pm 7,69 | 59,4 \pm 14,2 | 111,7 \pm 28,0 | 45,1 \pm 7,78 | 62,6 \pm 7,98 |
| $F_{\text{gl}=1}$ | 1,45 | 23,9 | 0,00 | 1,38 | 25,8 | 12,7 |
| Significación | 0,315 | 0,016 | 0,961 | 0,326 | 0,015 | 0,001 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 59,5 \pm 9,86 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 60,3 \pm 8,80 a |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 57,3 \pm 8,34 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 105,0 \pm 17,3 b |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 55,6 \pm 6,64 a |
| $F_{\text{gl}=4}$ | - | - | - | - | - | 8,13 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=3}$ | 0,38 | 1,44 | 0,67 | 5,40 | 4,44 | 0,50 |
| Significación | 0,779 | 0,385 | 0,624 | 0,100 | 0,126 | 0,685 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=1}$ | 1,07 | 0,10 | 0,04 | 1,41 | 3,93 | 0,85 |
| Significación | 0,377 | 0,776 | 0,849 | 0,320 | 0,142 | 0,361 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=4}$ | - | - | - | - | - | 2,98 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,029 |
| Estación x Año | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=3}$ | 0,83 | 1,07 | 0,17 | 7,03 | 9,97 | 0,68 |
| Significación | 0,560 | 0,479 | 0,906 | 0,072 | 0,045 | 0,569 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=12}$ | - | - | - | - | - | 0,98 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,481 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| $F_{\text{gl}=4}$ | - | - | - | - | - | 3,56 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,013 |
| R^2 | 0,931 | 0,963 | 0,949 | 0,996 | 0,981 | 0,879 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

| Tabla V.75. Flujo de C-CO ₂ (días ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,04 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,03 ± 0,00 | 0,08 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,05 ± 0,00 |
| 15-30 cm | 0,03 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 | 0,02 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 0,03 ± 0,01 | 0,03 ± 0,00 |
| F _{gl=1} | 6,25 | 76,1 | 4,91 | 68,6 | 5,10 | 60,7 |
| Significación | 0,088 | 0,003 | 0,113 | 0,004 | 0,109 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,02 ± 0,01 a | 0,03 ± 0,01 a | 0,02 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 a | 0,04 ± 0,01 a | 0,03 ± 0,00 a |
| Verano | 0,05 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 bc | 0,03 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 a | 0,06 ± 0,02 a | 0,05 ± 0,01 b |
| Otoño | 0,03 ± 0,01 a | 0,03 ± 0,01 ab | 0,02 ± 0,01 a | 0,06 ± 0,02 a | 0,03 ± 0,01 a | 0,03 ± 0,01 a |
| Invierno | 0,03 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 c | 0,03 ± 0,01 a | 0,06 ± 0,02 a | 0,05 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 b |
| F _{gl=3} | 4,98 | 17,9 | 0,74 | 0,80 | 1,79 | 9,04 |
| Significación | 0,110 | 0,020 | 0,595 | 0,571 | 0,322 | 0,000 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,03 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,03 ± 0,00 | 0,06 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,05 ± 0,00 |
| 2 | 0,03 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 | 0,02 ± 0,00 | 0,05 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 | 0,03 ± 0,00 |
| F _{gl=1} | 0,10 | 55,6 | 1,13 | 1,18 | 12,9 | 24,0 |
| Significación | 0,773 | 0,005 | 0,365 | 0,357 | 0,037 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,03 ± 0,01 ab |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,04 ± 0,01 bc |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,03 ± 0,00 a |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,05 ± 0,01 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,04 ± 0,01 bc |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 10,5 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 1,18 | 4,93 | 0,23 | 2,05 | 0,86 | 0,07 |
| Significación | 0,448 | 0,111 | 0,872 | 0,285 | 0,548 | 0,976 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,43 | 7,85 | 0,55 | 2,85 | 0,00 | 0,01 |
| Significación | 0,558 | 0,068 | 0,514 | 0,190 | 0,953 | 0,935 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 2,57 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,051 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 5,70 | 7,23 | 0,93 | 0,78 | 0,30 | 4,01 |
| Significación | 0,093 | 0,069 | 0,525 | 0,577 | 0,825 | 0,013 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 0,97 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,492 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 3,21 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,022 |
| R ² | 0,934 | 0,987 | 0,804 | 0,965 | 0,900 | 0,824 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05) | | | | | | |

El flujo de C-CO₂ en los suelos de la zona montana húmeda es también significativamente mayor en los primeros 15 cm del suelo, y más alto en invierno y verano que en otoño y primavera (Tabla V.75; Figura V.35). Los mayores valores se dan en los suelos de *Pajaritos*, intermedios en *Los Noruegos* y *Ravelo*, y menores en *Los Aceviños* y *Palos Pelados*. No se encontraron diferencias interanuales en los suelos de *Los Aceviños*, *Palos Pelados* y *Pajaritos*, pero sí en *Los Noruegos* y *Ravelo*, donde el flujo de C-CO₂ es menor durante el segundo año.

| Tabla V.76. Respiración del suelo en el laboratorio ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}\text{d}^{-1}$, 10 días) (media \pm e. t.) en la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 48,7 \pm 4,10 | 73,4 \pm 10,3 | 50,5 \pm 5,32 | 57,5 \pm 4,56 |
| 15-30 cm | 17,7 \pm 2,14 | 18,9 \pm 2,59 | 12,5 \pm 2,26 | 16,4 \pm 1,42 |
| $F_{gl=1}$ | 192,3 | 138,7 | 56,4 | 292,8 |
| Significación | 0,001 | 0,001 | 0,005 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 33,5 \pm 10,2 a | 52,0 \pm 19,3 a | 28,4 \pm 10,6 a | 38,0 \pm 7,93 ab |
| Verano | 41,9 \pm 11,8 a | 61,6 \pm 26,0 a | 43,0 \pm 15,6 a | 48,8 \pm 10,2 a |
| Otoño | 26,0 \pm 7,53 a | 30,7 \pm 14,0 a | 20,7 \pm 7,78 a | 25,8 \pm 5,48 c |
| Invierno | 31,3 \pm 8,77 a | 40,4 \pm 9,18 a | 33,8 \pm 11,6 a | 35,2 \pm 5,32 b |
| $F_{gl=3}$ | 8,15 | 7,51 | 2,92 | 13,7 |
| Significación | 0,059 | 0,066 | 0,201 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 32,6 \pm 5,10 | 49,5 \pm 13,3 | 33,9 \pm 7,78 | 38,7 \pm 5,41 |
| 2 | 33,7 \pm 8,00 | 42,8 \pm 12,0 | 29,0 \pm 8,62 | 35,2 \pm 5,49 |
| $F_{gl=1}$ | 0,18 | 2,88 | 1,75 | 4,59 |
| Significación | 0,699 | 0,188 | 0,277 | 0,043 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 33,2 \pm 4,59 a |
| Pinalito | - | - | - | 46,2 \pm 8,69 b |
| Siete Lomas | - | - | - | 31,5 \pm 5,65 a |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 10,3 |
| Significación | - | - | - | 0,001 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,74 | 3,34 | 0,33 | 2,39 |
| Significación | 0,596 | 0,174 | 0,808 | 0,095 |
| Profundidad x Año | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 5,68 | 0,15 | 0,35 | 2,11 |
| Significación | 0,097 | 0,729 | 0,597 | 0,160 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 3,80 |
| Significación | - | - | - | 0,038 |
| Estación x Año | | | | |
| $F_{gl=3}$ | 7,12 | 4,73 | 0,45 | 5,10 |
| Significación | 0,071 | 0,117 | 0,733 | 0,008 |
| Estación x Parcela | | | | |
| $F_{gl=6}$ | - | - | - | 0,82 |
| Significación | - | - | - | 0,566 |
| Año x Parcela | | | | |
| $F_{gl=2}$ | - | - | - | 0,75 |
| Significación | - | - | - | 0,484 |
| R^2 | 0,988 | 0,984 | 0,959 | 0,945 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

iii) ZONA MONTANA SECA

En los suelos de la zona montana seca las tasas respiratorias alcanzan valores intermedios entre el ecosistema costero y el montano húmedo, más altos en *Pinalito* que en *Los Frailes* y *Siete Lomas* (Tabla V.76; Figura V.34.b). La respiración muestra una clara estacionalidad, con valores máximos en verano, intermedios en primavera e invierno y mínimos en otoño, y, al igual que en el monteverde, es considerablemente más alta en superficie (0-15 cm) que en

profundidad (15-30 cm). Se observa una disminución de la intensidad respiratoria el segundo año de muestreo, más manifiesta a 15-30 cm de profundidad. Por su parte el flujo de C-CO₂ es también mayor en superficie (0-15 cm) y en los suelos de *Pinalito*. El flujo de C-CO₂ desciende en los meses de otoño, y en el segundo año de seguimiento a 15-30 cm (Tabla V.77; Figura V.35.b).

| Tabla V.77. Flujo de C-CO ₂ (días ⁻¹) (media ± e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|----------------|---------------|---------------|----------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,05 ± 0,01 | 0,07 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 |
| 15-30 cm | 0,03 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,02 ± 0,01 | 0,03 ± 0,00 |
| F _{gl=1} | 105,9 | 12,7 | 11,5 | 45,1 |
| Significación | 0,002 | 0,038 | 0,043 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,04 ± 0,01 ab | 0,06 ± 0,01 a | 0,03 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 b |
| Verano | 0,05 ± 0,01 b | 0,06 ± 0,01 a | 0,08 ± 0,03 a | 0,06 ± 0,01 a |
| Otoño | 0,03 ± 0,01 a | 0,04 ± 0,01 a | 0,02 ± 0,00 a | 0,03 ± 0,01 c |
| Invierno | 0,04 ± 0,01 a | 0,08 ± 0,01 a | 0,04 ± 0,01 a | 0,05 ± 0,01 ab |
| F _{gl=3} | 20,3 | 5,29 | 3,38 | 11,5 |
| Significación | 0,017 | 0,102 | 0,172 | 0,000 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,05 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 | 0,05 ± 0,01 |
| 2 | 0,04 ± 0,01 | 0,06 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 |
| F _{gl=1} | 27,5 | 1,29 | 1,50 | 6,93 |
| Significación | 0,013 | 0,339 | 0,308 | 0,015 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,04 ± 0,01 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,06 ± 0,01 b |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,04 ± 0,01 a |
| F _{gl=2} | - | - | - | 9,98 |
| Significación | - | - | - | 0,001 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 4,30 | 0,95 | 0,29 | 0,62 |
| Significación | 0,131 | 0,516 | 0,833 | 0,612 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 1,66 | 2,36 | 0,25 | 1,86 |
| Significación | 0,289 | 0,222 | 0,655 | 0,186 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 1,58 |
| Significación | - | - | - | 0,229 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 22,0 | 1,97 | 1,17 | 3,89 |
| Significación | 0,015 | 0,296 | 0,450 | 0,022 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,32 |
| Significación | - | - | - | 0,067 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,17 |
| Significación | - | - | - | 0,845 |
| R ² | 0,989 | 0,932 | 0,903 | 0,858 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p≤0,05)

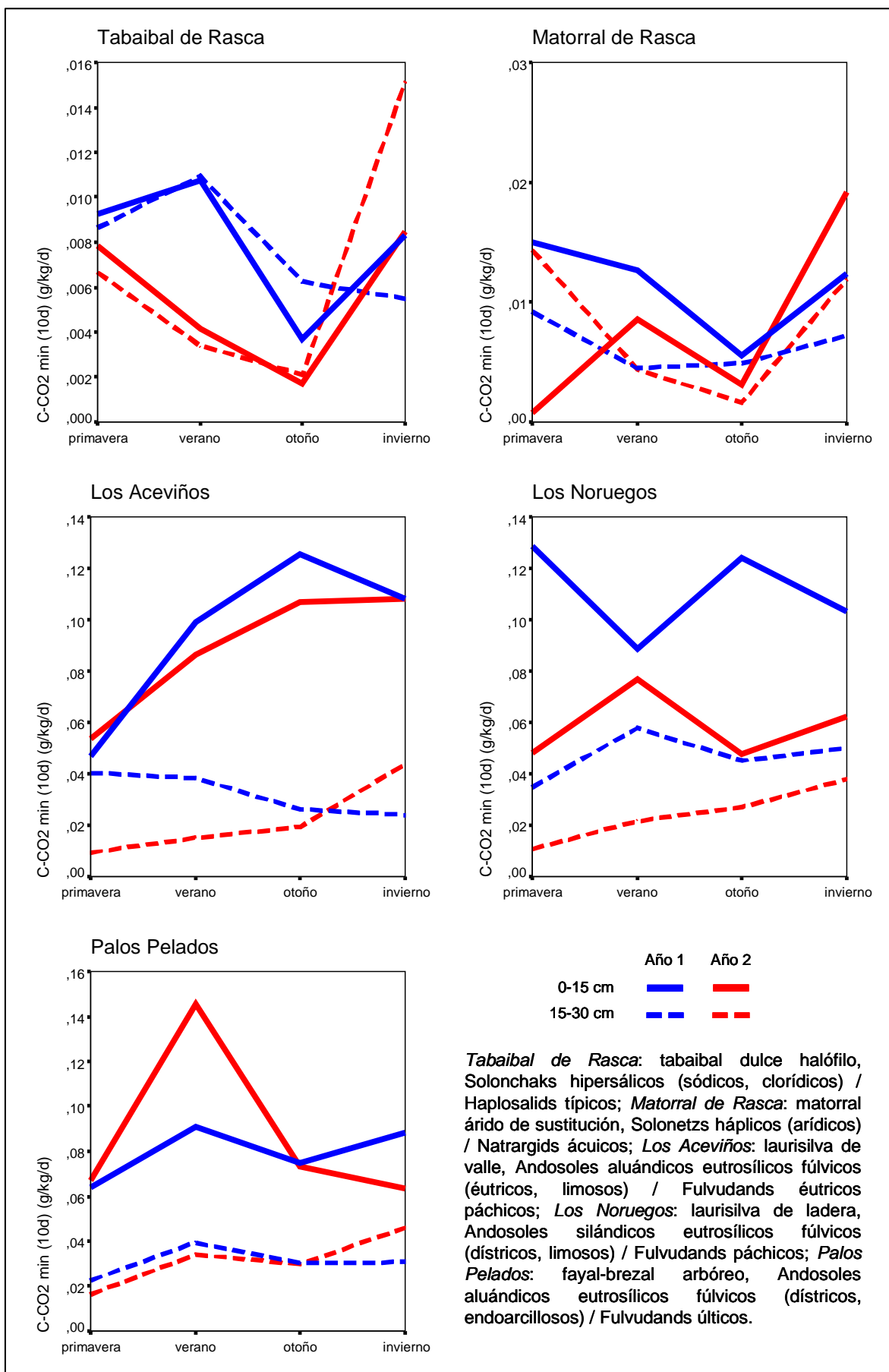


Figura V.34.a. Respiración del suelo en el laboratorio

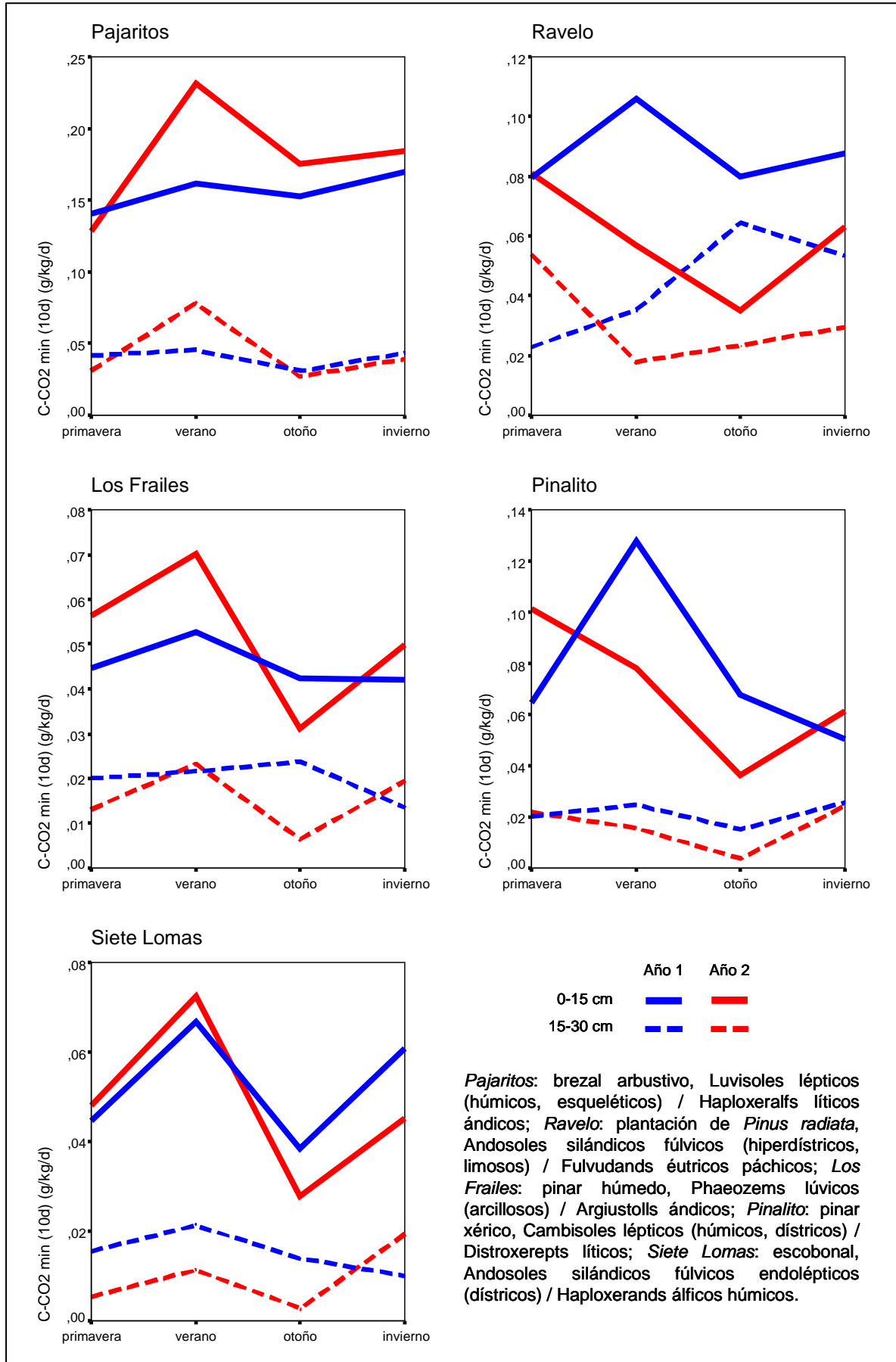


Figura V.34.b. Respiración del suelo en el laboratorio

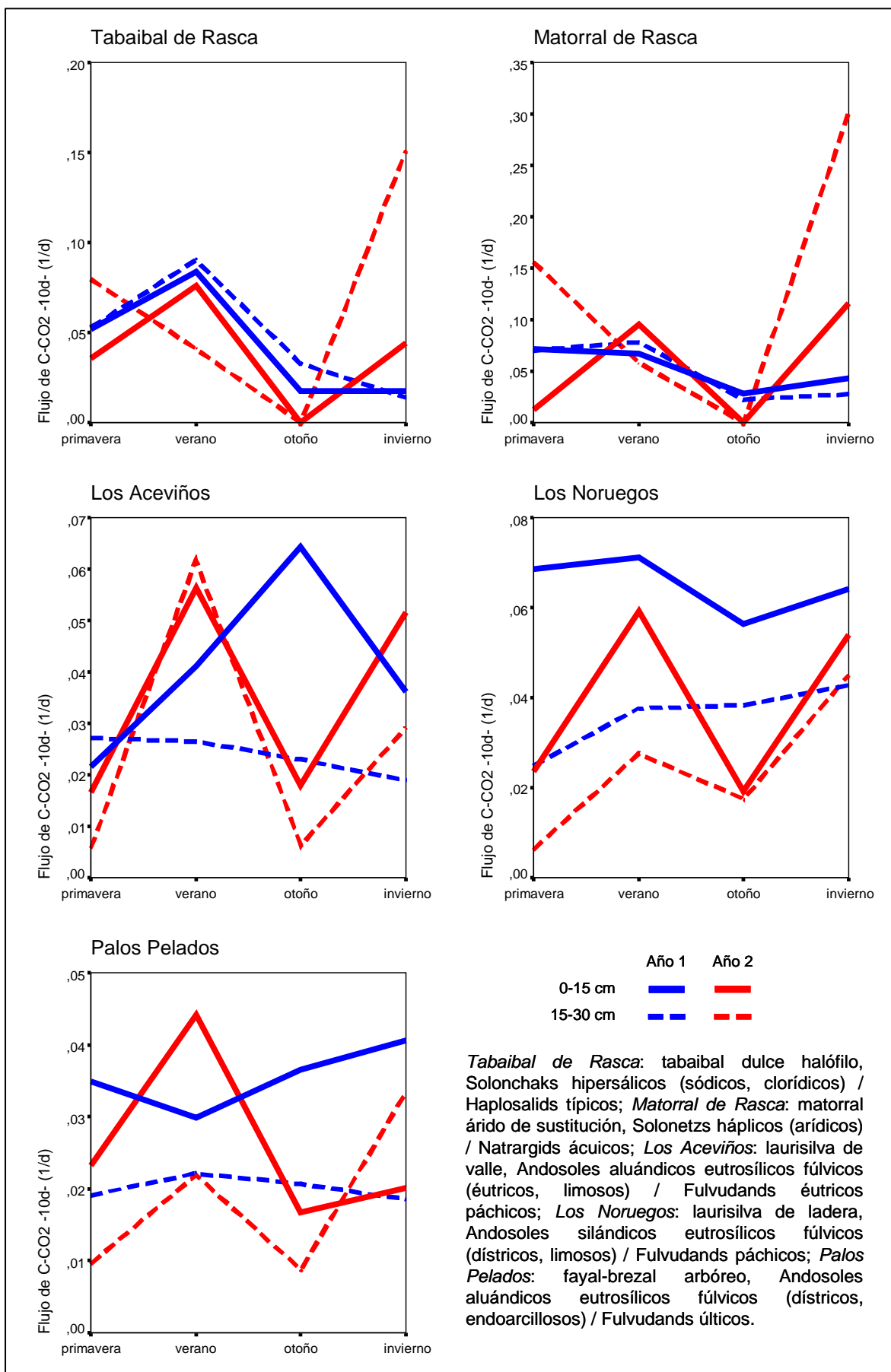


Figura V.35.a. Flujo de C-CO₂

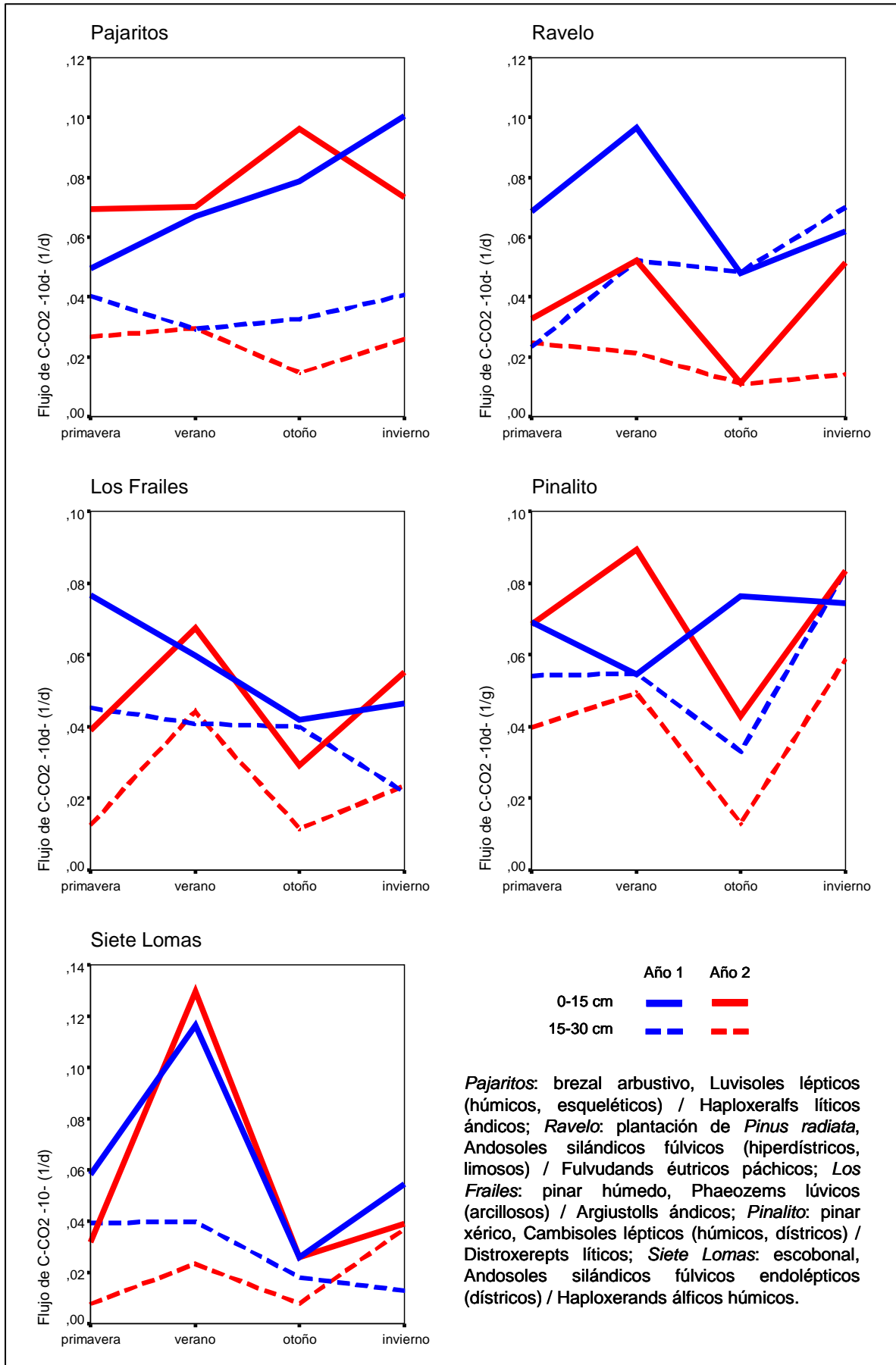


Figura V.35.b. Flujo de C-CO₂

Los resultados del C-CO₂ emitido a lo largo de la incubación se ajustaron posteriormente a una cinética de primer orden, siguiendo las indicaciones de Mora *et al.* (2007). La ecuación resultante responde a la siguiente fórmula:

$$C_t = C_0 (1 - e^{-kt})$$

donde C_t es la cantidad acumulada de C-CO₂ (expresada en mg C kg suelo⁻¹) emitida en un tiempo *t*, C₀ corresponde al contenido de carbono potencialmente mineralizable inicial (mg C kg suelo⁻¹) y *k* es una constante que representa la tasa de flujo diario (días⁻¹) (Figura V.36).

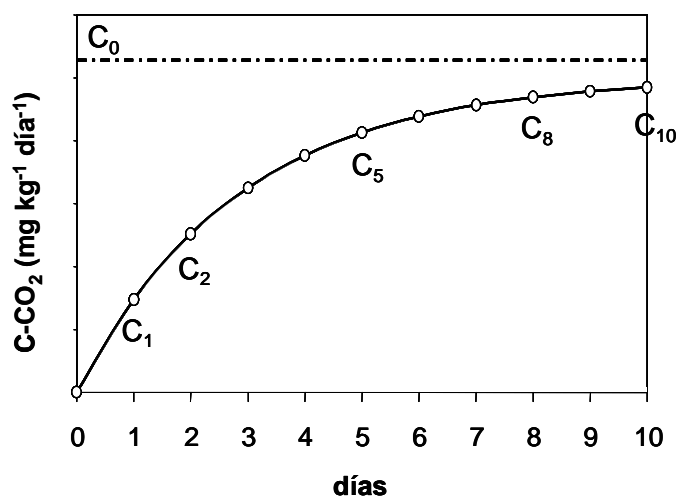


Figura V.36. Ajuste de la emisión de CO₂ a lo largo de la incubación a una cinética de primer orden

El contenido de carbono potencialmente mineralizable estimado mediante este modelo muestra sus valores más altos en el horizonte superficial del suelo (0-15 cm) y en primavera. Es mayor en los suelos del monte verde, intermedio en el pinar y menor en el matorral costero, y no se observa en él una variación interanual significativa (Tabla V.78). El carbono mineralizable muestra correlaciones altamente significativas ($p=0,000$) con todas las fracciones lábiles de carbono analizadas: carbono extraíble con sulfato potásico ($r=0,463$), soluble a temperatura ambiente en el suelo fresco ($r=0,485$) y en extracto de saturación ($r=0,554$), ligado a la biomasa microbiana ($r=0,605$) y soluble en agua caliente ($r=0,638$), pudiendo considerarse a este último como el estimador más fiable del contenido de carbono mineralizable en los suelos.

Durante el ensayo de incubación suele mineralizarse en torno a un 65% de este carbono mineralizable total (intervalo de confianza al 95% para la media entre 59 y 69%). Esta proporción varía sobre todo en función de la tasa de flujo diario ($r=0,948$, $p=0,000$): a mayor flujo, mayor emisión de carbono en forma de CO₂ durante la incubación. Las mayores tasas de flujo se producen en los suelos de la zona costera, en invierno y entre 15 y 30 cm de profundidad, coincidiendo con lo ya observado para el flujo de C-CO₂ calculado como tasa respiratoria relativa de la microbiota edáfica.

El modelo cinético de primer orden describe reacciones cuya velocidad está determinada por un único sustrato que se descompone en dos o más productos. Siendo así, el grado de ajuste

de la regresión nos informa acerca de la diversidad química de los compuestos que se mineralizan durante el ensayo de incubación. Cuando el suelo contiene una gran cantidad de carbono muy fácilmente mineralizable o la respiración es muy lenta, el periodo de incubación termina sin que este carbono se haya agotado, y el proceso puede ser descrito fielmente por un modelo cinético de primer orden. Por el contrario, si los compuestos muy lábiles se agotan durante la incubación, sigue una movilización secuencial de fracciones de carbono cada vez menos accesibles, y el proceso no se ajusta ya a una cinética de primer orden, debido a que participan en él sustratos diferentes. El ajuste de la regresión supera en la mayoría de las muestras el 97% de varianza explicada, con valores menores en la zona costera y mayores en las zonas montanas, aproximándose al 100% en los suelos del monteverde. Es mayor en los horizontes superficiales (0-15 cm) y en verano, indicando una mayor abundancia de compuestos muy lábiles y un flujo respiratorio más rápido, relacionados con los mayores aportes de restos vegetales y las elevadas temperaturas estivales.

Tabla V.78. Resultados del análisis de la cinética de mineralización: C potencialmente mineralizable (C_0), tasa de flujo diario (k), proporción del C_0 mineralizada durante el ensayo de incubación, y R^2 del ajuste a una cinética de primer orden; media \pm e. t.

| | C_0 (mg kg ⁻¹) | k (días ⁻¹) | $C_{t=10d} / C_0$ | R^2 |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------|
| Ecosistema | | | | |
| F ₂ | 60,7 | 19,5 | 7,69 | 79,0 |
| Sig. | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 |
| Zona costera | 774 \pm 315 a | 0,32 \pm 0,06 a | 0,76 \pm 0,07 a | 0,920 \pm 0,013 a |
| Zona montana húmeda | 1842 \pm 248 c | 0,12 \pm 0,01 c | 0,59 \pm 0,03 b | 0,992 \pm 0,001 c |
| Zona montana seca | 1334 \pm 352 b | 0,16 \pm 0,03 b | 0,64 \pm 0,04 b | 0,984 \pm 0,003 b |
| Profundidad | | | | |
| F ₁ | 37,6 | 7,32 | 6,86 | 32,2 |
| Sig. | 0,000 | 0,008 | 0,010 | 0,000 |
| 0-15 cm | 2022 \pm 276 a | 0,14 \pm 0,02 a | 0,58 \pm 0,03 a | 0,981 \pm 0,005 a |
| 15-30 cm | 943 \pm 206 b | 0,20 \pm 0,02 b | 0,70 \pm 0,04 b | 0,970 \pm 0,004 b |
| Estación | | | | |
| F ₃ | 33,3 | 33,0 | 34,8 | 1,23 |
| Sig. | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,301 |
| Primavera | 2980 \pm 473 a | 0,06 \pm 0,01 a | 0,37 \pm 0,05 a | 0,978 \pm 0,003 a |
| Verano | 1177 \pm 372 b | 0,18 \pm 0,03 b | 0,68 \pm 0,04 b | 0,981 \pm 0,004 a |
| Otoño | 832 \pm 143 bc | 0,20 \pm 0,02 bc | 0,78 \pm 0,03 b | 0,976 \pm 0,007 a |
| Invierno | 917 \pm 208 c | 0,25 \pm 0,05 c | 0,73 \pm 0,04 b | 0,970 \pm 0,011 a |
| Año | | | | |
| F ₁ | 0,30 | 0,02 | 1,88 | 0,01 |
| Sig. | 0,583 | 0,877 | 0,173 | 0,914 |
| 1 | 1153 \pm 143 a | 0,17 \pm 0,02 a | 0,67 \pm 0,03 a | 0,973 \pm 0,006 a |
| 2 | 1831 \pm 326 a | 0,17 \pm 0,02 a | 0,61 \pm 0,04 a | 0,979 \pm 0,004 a |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA/test de Tukey, p \leq 0,05)

V.5.3. Medida de actividades enzimáticas implicadas en el ciclado del carbono

V.5.3.1. Actividad CM-celulasa

El análisis de la actividad carboximetil-celulasa en suelos resulta de gran interés, al ser la celulosa el constituyente más abundante de los residuos vegetales (en torno a un tercio de la

biomasa de las plantas anuales y la mitad de las perennes), y una de las entradas más importantes de carbono al suelo. La descomposición de la celulosa, contrariamente a lo que ocurre con la lignina, es llevada a cabo por un gran número de microorganismos, sobre todo por hongos pero también por bacterias y unos pocos protozoos (Coyne, 2000; García Álvarez, 2003).

i) ZONA COSTERA

En los suelos de este ecosistema no se detectó actividad CM-celulosa en ninguno de los muestreos realizados, lo que debe atribuirse a la salinidad del suelo, a la aridez reinante en la zona y al carácter errático del aporte de hojarasca (ver Sección V.1.2.i). De acuerdo a Malik *et al.* (1979), la salinidad inhibe la descomposición de la celulosa, ya que afecta a la actividad de la mayoría de hongos celulolíticos. Según Pavel *et al.* (2004) y Doyle *et al.* (2006), la actividad celulosa sólo es detectable en suelos de zonas áridas durante periodos puntuales a lo largo del año, ligada a unas condiciones ambientales propicias y a un aporte significativo de celulosa al suelo en forma de restos vegetales. La deficiencia de actividad celulosa observada en nuestros suelos se refleja en una descomposición muy lenta de los restos vegetales, que tienden a acumularse en el suelo sin apenas transformarse (ver más adelante Sección VII.3 y VII.4).

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

La actividad CM-celulosa alcanza en *Palos Pelados* y *Pajaritos* sus valores mayores, intermedios en *Los Noruegos* y *Ravelo*, y mínimos en *Los Aceviños* (Tabla V.79; Figura V.37); y es mayor en superficie (0-15 cm). No se observan variaciones temporales significativas, lo que se relaciona probablemente con el abundante desfronde que se produce en estas localidades a lo largo de todo el año.

La inusitadamente baja actividad CM-celulosa observada en el suelo de *Los Aceviños* contrasta con los importantes aportes de restos vegetales ricos en celulosa que recibe, y con la elevada actividad que en él presentan enzimas como la β -D-glucosidasa o la deshidrogenasa, implicadas en el metabolismo de los productos de la descomposición de la celulosa. La explicación a este resultado puede residir en la umbría y humedad reinantes en *Los Aceviños*, que posibilitarían una descomposición muy rápida de la celulosa, prácticamente circunscrita a la superficie y primeros centímetros del suelo y, por ello, difícilmente detectable en los espesores de suelo estudiados. Este comportamiento justificaría también los valores relativamente bajos de la celulosa en *Los Noruegos* y *Ravelo*, donde la descomposición de la celulosa tendería igualmente a concentrarse en la superficie del suelo; mientras que en las más abiertas y degradadas *Palos Pelados* y *Pajaritos*, la descomposición se trasladaría al interior del suelo, alcanzando los valores de actividad celulosa más altos entre todos los suelos estudiados.

iii) ZONA MONTANA SECA

En este ecosistema la actividad celulosa se concentra principalmente en los primeros 15 cm del suelo, con una actividad más alta en *Pinalito* y *Siete Lomas* que en *Los Frailes*, y un descenso significativo en superficie (0-15 cm) durante el segundo año de muestreo (Tabla V.80; Figura

V.37.b). Sólo los suelos de *Siete Lomas* presentan diferencias estacionales, relacionadas con una mayor irregularidad de los aportes de hojarasca durante el año, con una actividad máxima en invierno, intermedia en primavera y otoño y mínima en verano. Al igual que en la zona montana húmeda, las diferencias entre parcelas reflejan probablemente un microclima distinto en la superficie edáfica, donde se concentra la descomposición de la celulosa en los bosques umbríos, mientras que en las formaciones de bosque abierto o matorral tiende a localizarse en el interior del suelo.

| Tabla V.79. Actividad CM-celulasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,14 \pm 0,03 | 0,35 \pm 0,03 | 0,56 \pm 0,03 | 0,60 \pm 0,07 | 0,31 \pm 0,07 | 0,39 \pm 0,03 |
| 15-30 cm | 0,06 \pm 0,02 | 0,30 \pm 0,03 | 0,46 \pm 0,05 | 0,41 \pm 0,05 | 0,32 \pm 0,03 | 0,31 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 16,2 | 0,54 | 6,21 | 5,34 | 0,03 | 12,0 |
| Significación | 0,028 | 0,517 | 0,088 | 0,104 | 0,878 | 0,001 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,04 \pm 0,02 a | 0,29 \pm 0,05 a | 0,53 \pm 0,07 a | 0,61 \pm 0,08 a | 0,17 \pm 0,05 a | 0,33 \pm 0,05 a |
| Verano | 0,08 \pm 0,03 a | 0,34 \pm 0,03 a | 0,53 \pm 0,08 a | 0,38 \pm 0,09 a | 0,42 \pm 0,10 a | 0,35 \pm 0,05 a |
| Otoño | 0,14 \pm 0,05 a | 0,30 \pm 0,07 a | 0,44 \pm 0,06 a | 0,47 \pm 0,10 a | 0,35 \pm 0,05 a | 0,34 \pm 0,04 a |
| Invierno | 0,14 \pm 0,06 a | 0,37 \pm 0,01 a | 0,54 \pm 0,02 a | 0,57 \pm 0,07 a | 0,30 \pm 0,04 a | 0,38 \pm 0,04 a |
| F _{gl=3} | 7,52 | 0,25 | 1,59 | 1,62 | 3,30 | 0,99 |
| Significación | 0,066 | 0,860 | 0,356 | 0,350 | 0,177 | 0,407 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,07 \pm 0,02 | 0,33 \pm 0,04 | 0,55 \pm 0,05 | 0,48 \pm 0,07 | 0,32 \pm 0,07 | 0,35 \pm 0,04 |
| 2 | 0,13 \pm 0,04 | 0,31 \pm 0,02 | 0,46 \pm 0,03 | 0,53 \pm 0,06 | 0,31 \pm 0,02 | 0,35 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 4,48 | 0,10 | 7,05 | 0,41 | 0,04 | 0,00 |
| Significación | 0,125 | 0,775 | 0,077 | 0,567 | 0,860 | 0,974 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,10 \pm 0,02 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,32 \pm 0,02 b |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,51 \pm 0,03 c |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,51 \pm 0,05 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,31 \pm 0,04 b |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 38,8 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,77 | 0,32 | 0,48 | 0,06 | 1,24 | 0,81 |
| Significación | 0,583 | 0,810 | 0,720 | 0,975 | 0,431 | 0,495 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 1,00 | 0,01 | 0,30 | 0,65 | 0,09 | 0,20 |
| Significación | 0,391 | 0,921 | 0,621 | 0,480 | 0,780 | 0,661 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,83 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,141 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 11,2 | 0,01 | 3,92 | 1,25 | 2,52 | 2,98 |
| Significación | 0,039 | 0,999 | 0,146 | 0,429 | 0,234 | 0,042 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 2,17 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,032 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,37 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,259 |
| R ² | 0,964 | 0,442 | 0,913 | 0,835 | 0,877 | 0,837 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | | | | |

| Tabla V.80. Actividad CM-celulosa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,20 \pm 0,03 | 0,36 \pm 0,06 | 0,37 \pm 0,05 | 0,31 \pm 0,03 |
| 15-30 cm | 0,08 \pm 0,01 | 0,11 \pm 0,02 | 0,17 \pm 0,02 | 0,12 \pm 0,01 |
| F _{gl=1} | 22,9 | 23,3 | 749,5 | 70,5 |
| Significación | 0,017 | 0,017 | 0,000 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,11 \pm 0,04 a | 0,28 \pm 0,08 a | 0,25 \pm 0,09 b | 0,21 \pm 0,04 a |
| Verano | 0,19 \pm 0,05 a | 0,27 \pm 0,13 a | 0,18 \pm 0,05 a | 0,22 \pm 0,05 a |
| Otoño | 0,13 \pm 0,04 a | 0,24 \pm 0,11 a | 0,29 \pm 0,07 b | 0,22 \pm 0,05 a |
| Invierno | 0,12 \pm 0,05 a | 0,16 \pm 0,06 a | 0,37 \pm 0,07 c | 0,22 \pm 0,05 a |
| F _{gl=3} | 2,09 | 2,10 | 111,4 | 0,42 |
| Significación | 0,280 | 0,279 | 0,001 | 0,740 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,14 \pm 0,04 | 0,29 \pm 0,07 | 0,31 \pm 0,06 | 0,25 \pm 0,04 |
| 2 | 0,13 \pm 0,02 | 0,19 \pm 0,05 | 0,24 \pm 0,04 | 0,19 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 0,61 | 5,34 | 80,0 | 4,40 |
| Significación | 0,492 | 0,104 | 0,003 | 0,047 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,14 \pm 0,02 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,24 \pm 0,05 b |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,27 \pm 0,04 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 12,5 |
| Significación | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,22 | 0,76 | 51,4 | 0,81 |
| Significación | 0,875 | 0,586 | 0,004 | 0,500 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 1,90 | 0,34 | 72,1 | 1,01 |
| Significación | 0,261 | 0,600 | 0,003 | 0,326 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 1,61 |
| Significación | - | - | - | 0,221 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 1,29 | 1,84 | 12,6 | 3,96 |
| Significación | 0,421 | 0,314 | 0,033 | 0,021 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 3,79 |
| Significación | - | - | - | 0,009 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 2,90 |
| Significación | - | - | - | 0,075 |
| R ² | 0,924 | 0,935 | 0,998 | 0,866 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | | |

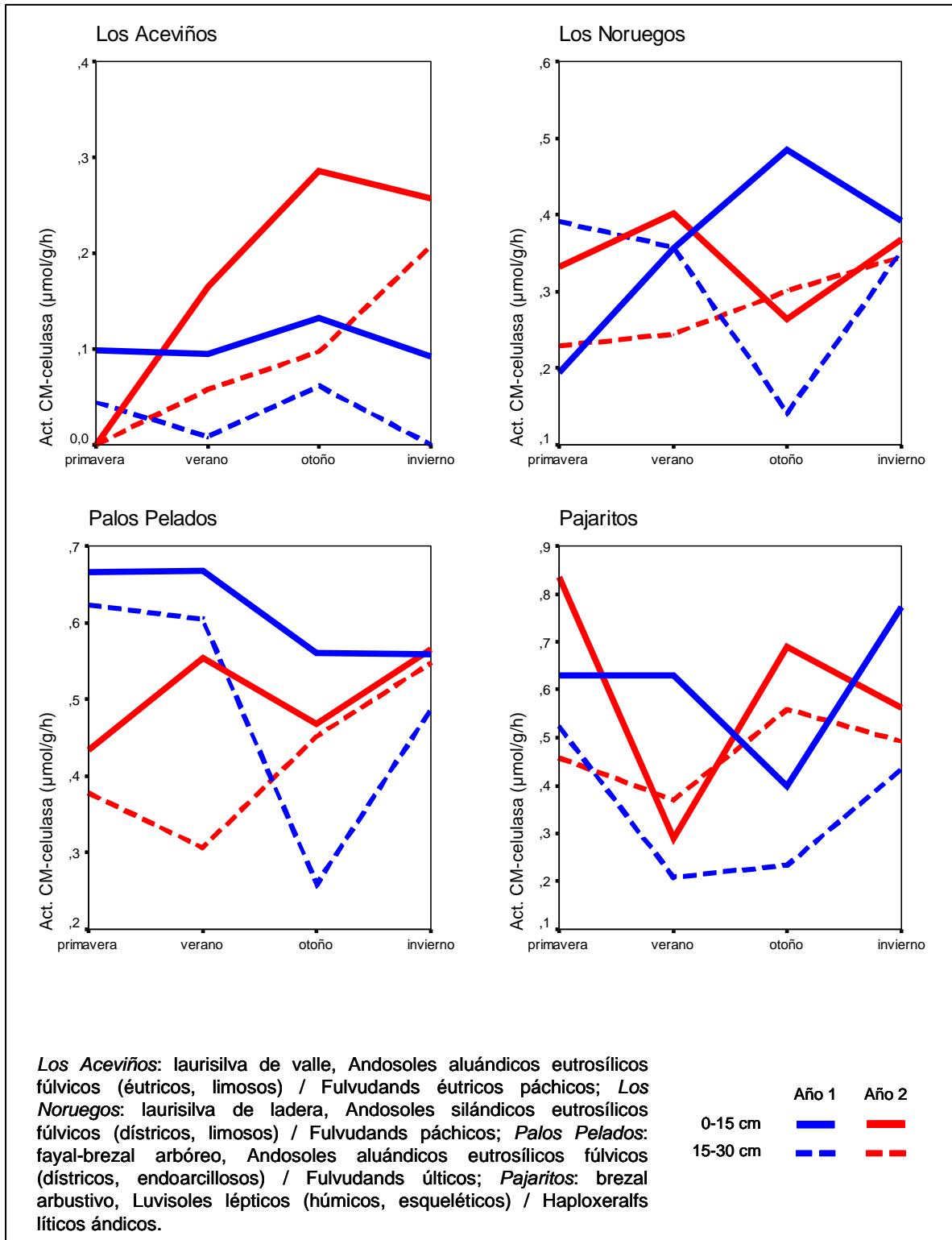


Figura V.37.a. Actividad CM-celulasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

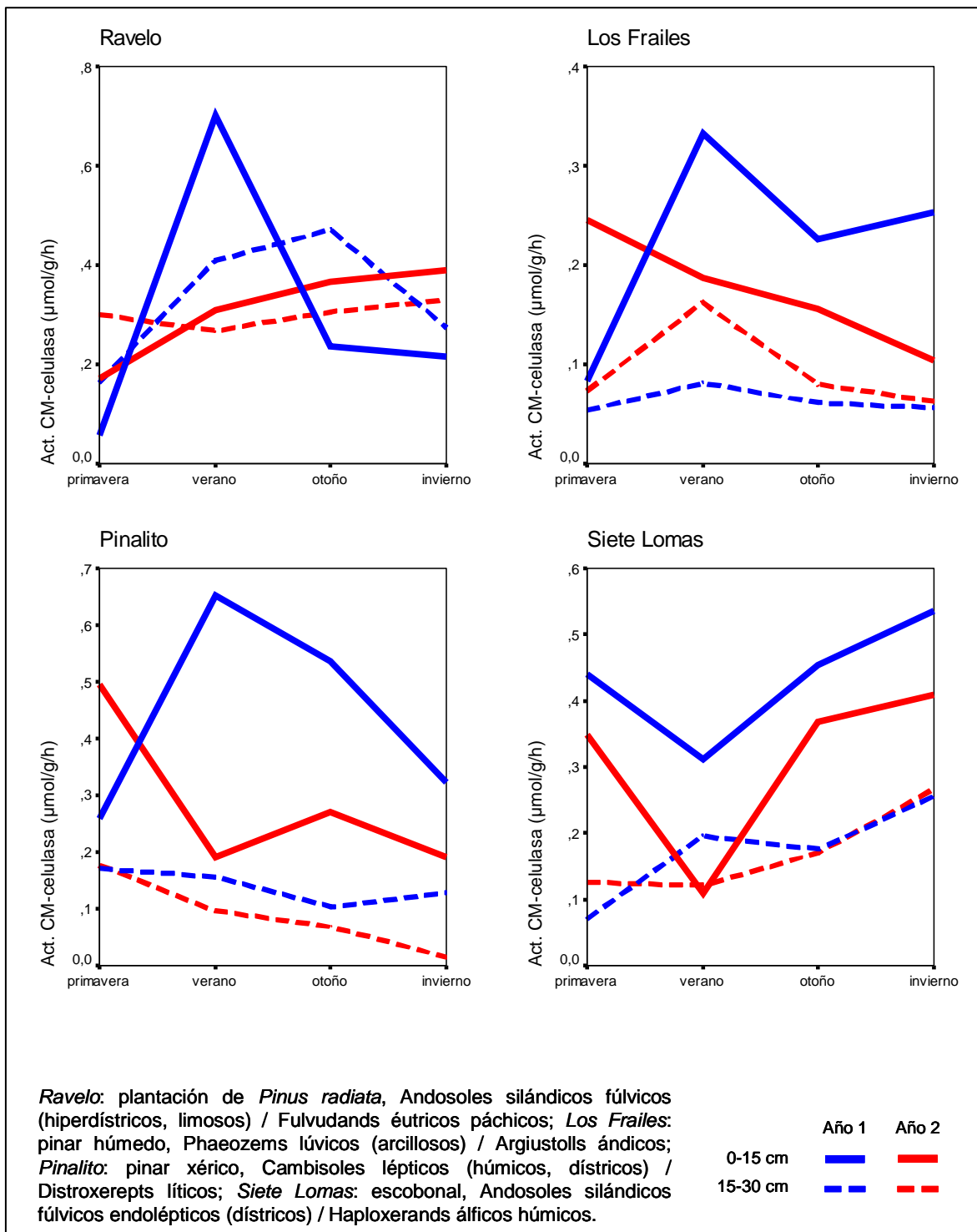


Figura V.37.b. Actividad CM-celulasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

V.5.3.2. Actividad β -D-glucosidasa

La enzima β -D-glucosidasa desempeña un papel fundamental en la degradación de la celulosa, interviniendo en el proceso final de su descomposición y liberando glucosa al suelo, que constituye un aporte de energía importante para los microorganismos edáficos (Tabatabai, 1982; Eivazi & Tabatabai, 1990; Jiménez & Bonmatí, 2003).

i) ZONA COSTERA

La actividad β -D-glucosidasa es mucho mayor en los suelos de la parcela *Tabaibal de Rasca* (Tabla V.81; Figura V.38.a) y en los primeros 15 cm del suelo, más ricos en formas de carbono lábiles como el sustrato de esta enzima (ver Secciones V.4.3-V.4.6). La glucosidasa no muestra un patrón estacional definido, pero sí cierta variación interanual: en *Tabaibal de Rasca* descende durante el segundo año de seguimiento, mientras que en *Matorral* tiende a concentrarse en superficie en el primer año y a distribuirse más equilibradamente entre 0 y 30 cm durante el segundo.

| Tabla V.81. Actividad β -D-glucosidasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,21 \pm 0,03 | 0,10 \pm 0,03 | 0,15 \pm 0,02 |
| 15-30 cm | 0,07 \pm 0,02 | 0,02 \pm 0,01 | 0,05 \pm 0,01 |
| F _{gl=1} | 38,3 | 8,05 | 30,4 |
| Significación | 0,008 | 0,066 | 0,000 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,13 \pm 0,05 a | 0,09 \pm 0,06 a | 0,11 \pm 0,04 a |
| Verano | 0,11 \pm 0,06 a | 0,07 \pm 0,03 a | 0,09 \pm 0,03 a |
| Otoño | 0,12 \pm 0,05 a | 0,04 \pm 0,02 a | 0,08 \pm 0,03 a |
| Invierno | 0,20 \pm 0,06 a | 0,05 \pm 0,02 a | 0,13 \pm 0,04 a |
| F _{gl=3} | 4,05 | 0,53 | 1,32 |
| Significación | 0,140 | 0,693 | 0,310 |
| Año | | | |
| 1 | 0,17 \pm 0,03 | 0,08 \pm 0,03 | 0,12 \pm 0,03 |
| 2 | 0,10 \pm 0,03 | 0,05 \pm 0,01 | 0,08 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | 10,4 | 0,89 | 2,17 |
| Significación | 0,048 | 0,415 | 0,164 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,14 \pm 0,03 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,06 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | - | - | 15,9 |
| Significación | - | - | 0,002 |
| Profundidad x Estación | | | |
| F _{gl=3} | 0,98 | 0,64 | 0,19 |
| Significación | 0,508 | 0,639 | 0,905 |
| Profundidad x Año | | | |
| F _{gl=1} | 1,02 | 3,49 | 4,11 |
| Significación | 0,386 | 0,159 | 0,064 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 0,01 |
| Significación | - | - | 0,944 |
| Estación x Año | | | |
| F _{gl=3} | 3,69 | 0,60 | 0,96 |
| Significación | 0,156 | 0,657 | 0,443 |
| Estación x Parcela | | | |
| F _{gl=3} | - | - | 0,85 |
| Significación | - | - | 0,494 |
| Año x Parcela | | | |
| F _{gl=1} | - | - | 2,71 |
| Significación | - | - | 0,124 |
| R ² | 0,962 | 0,855 | 0,834 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | |

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

La actividad glucosidasa es mayor en *Pajaritos* y *Palos Pelados* y en los primeros 15 cm del suelo (Tabla V.82; Figura V.38), asociada a un mayor contenido de formas lábiles de carbono (ver Secciones V.4.3-V.4.6) y a una actividad celulasa más intensa (Sección V.5.3.1.ii). No se detectan variaciones interanuales significativas y sólo se observa cierta regularidad estacional en los suelos de *Ravelo*, con valores más altos en verano-otoño.

| Tabla V.82. Actividad β -D-glucosidasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 4,89 \pm 0,28 | 4,70 \pm 0,78 | 7,95 \pm 0,81 | 8,11 \pm 1,00 | 3,89 \pm 0,53 | 5,91 \pm 0,42 |
| 15-30 cm | 1,49 \pm 0,24 | 1,52 \pm 0,18 | 2,51 \pm 0,36 | 3,52 \pm 0,48 | 2,89 \pm 0,38 | 2,38 \pm 0,19 |
| F _{gl=1} | 41,6 | 37,2 | 34,2 | 29,5 | 15,6 | 136,8 |
| Significación | 0,008 | 0,009 | 0,010 | 0,012 | 0,029 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 3,25 \pm 0,84 a | 3,00 \pm 1,10 a | 6,20 \pm 2,21 a | 7,72 \pm 2,49 a | 2,52 \pm 0,30 a | 4,54 \pm 0,80 a |
| Verano | 3,26 \pm 0,98 a | 2,51 \pm 0,42 a | 5,84 \pm 2,05 a | 4,58 \pm 1,35 a | 4,10 \pm 0,75 c | 4,06 \pm 0,56 a |
| Otoño | 3,31 \pm 1,21 a | 3,20 \pm 1,12 a | 4,88 \pm 1,68 a | 5,22 \pm 1,06 a | 4,01 \pm 0,79 bc | 4,12 \pm 0,51 a |
| Invierno | 2,95 \pm 1,16 a | 3,73 \pm 1,86 a | 4,00 \pm 0,80 a | 5,73 \pm 1,32 a | 2,92 \pm 0,64 ab | 3,87 \pm 0,54 a |
| F _{gl=3} | 0,10 | 0,08 | 0,26 | 2,56 | 9,42 | 0,42 |
| Significación | 0,958 | 0,966 | 0,848 | 0,230 | 0,049 | 0,741 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 3,58 \pm 0,73 | 3,77 \pm 1,04 | 4,52 \pm 1,18 | 5,86 \pm 1,52 | 3,72 \pm 0,57 | 4,29 \pm 0,47 |
| 2 | 2,80 \pm 0,62 | 2,44 \pm 0,38 | 5,94 \pm 1,16 | 5,77 \pm 0,65 | 3,05 \pm 0,37 | 4,00 \pm 0,38 |
| F _{gl=1} | 2,20 | 2,41 | 3,95 | 0,01 | 4,45 | 0,02 |
| Significación | 0,235 | 0,218 | 0,141 | 0,921 | 0,125 | 0,890 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 3,19 \pm 0,47 a |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 3,11 \pm 0,56 a |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 5,23 \pm 0,82 bc |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 5,81 \pm 0,80 c |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 3,39 \pm 0,34 ab |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 10,8 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,000 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,36 | 1,36 | 0,89 | 1,25 | 2,11 | 0,09 |
| Significación | 0,788 | 0,403 | 0,536 | 0,429 | 0,278 | 0,964 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,17 | 1,74 | 0,91 | 3,09 | 10,2 | 5,73 |
| Significación | 0,705 | 0,279 | 0,411 | 0,177 | 0,049 | 0,021 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 4,65 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,003 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,07 | 1,60 | 0,92 | 2,14 | 14,7 | 3,69 |
| Significación | 0,974 | 0,355 | 0,526 | 0,274 | 0,027 | 0,019 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 0,98 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,480 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 2,82 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,037 |
| R ² | 0,938 | 0,944 | 0,938 | 0,944 | 0,973 | 0,848 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | | | | |

iii) ZONA MONTANA SECA

En el ecosistema montano seco, la actividad β -D-glucosidasa es significativamente más alta en superficie (0-15 cm), y mayor en los suelos de *Siete Lomas*, intermedia en *Pinalito* y menor en *Los Frailes* (Tabla V.83; Figura V.38.b), en función de la disponibilidad de los glucósidos sustrato de esta enzima, y por ello correlacionada con la mayor o menor actividad celulasa (ver Sección V.5.3.1.iii). La actividad glucosidasa es mayor en primavera que en invierno, y ligeramente menor durante el segundo año de muestreo.

| Tabla V.83. Actividad β -D-glucosidasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 2,54 \pm 0,30 | 4,17 \pm 0,80 | 4,72 \pm 0,55 | 3,81 \pm 0,38 |
| 15-30 cm | 0,96 \pm 0,08 | 0,80 \pm 0,09 | 1,18 \pm 0,16 | 0,98 \pm 0,07 |
| F _{gl=1} | 72,6 | 234,1 | 48,9 | 164,6 |
| Significación | 0,003 | 0,001 | 0,006 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 1,76 \pm 0,55 a | 3,35 \pm 1,34 a | 3,25 \pm 1,25 a | 2,78 \pm 0,62 a |
| Verano | 1,81 \pm 0,43 a | 3,45 \pm 1,79 ab | 2,36 \pm 0,76 a | 2,54 \pm 0,63 ab |
| Otoño | 1,83 \pm 0,55 a | 1,85 \pm 0,72 ab | 3,30 \pm 1,37 a | 2,32 \pm 0,54 ab |
| Invierno | 1,61 \pm 0,70 a | 1,29 \pm 0,40 b | 2,90 \pm 1,25 a | 1,93 \pm 0,50 b |
| F _{gl=3} | 1,02 | 12,3 | 0,33 | 3,30 |
| Significación | 0,494 | 0,034 | 0,809 | 0,039 |
| Año | | | | |
| 1 | 1,86 \pm 0,40 | 2,92 \pm 1,02 | 3,10 \pm 0,79 | 2,63 \pm 0,44 |
| 2 | 1,63 \pm 0,33 | 2,05 \pm 0,61 | 2,80 \pm 0,78 | 2,16 \pm 0,35 |
| F _{gl=1} | 0,88 | 7,15 | 0,99 | 4,31 |
| Significación | 0,417 | 0,075 | 0,394 | 0,049 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 1,75 \pm 0,25 a |
| Pinalito | - | - | - | 2,48 \pm 0,58 ab |
| Siete Lomas | - | - | - | 2,95 \pm 0,54 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 4,35 |
| Significación | - | - | - | 0,025 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,27 | 0,44 | 0,49 | 0,65 |
| Significación | 0,846 | 0,743 | 0,712 | 0,593 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 1,99 | 1,18 | 0,99 | 0,54 |
| Significación | 0,253 | 0,357 | 0,392 | 0,470 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 3,06 |
| Significación | - | - | - | 0,066 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 7,81 | 0,12 | 1,70 | 2,55 |
| Significación | 0,063 | 0,945 | 0,337 | 0,081 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 1,15 |
| Significación | - | - | - | 0,366 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,33 |
| Significación | - | - | - | 0,722 |
| R ² | 0,972 | 0,989 | 0,951 | 0,902 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | | |

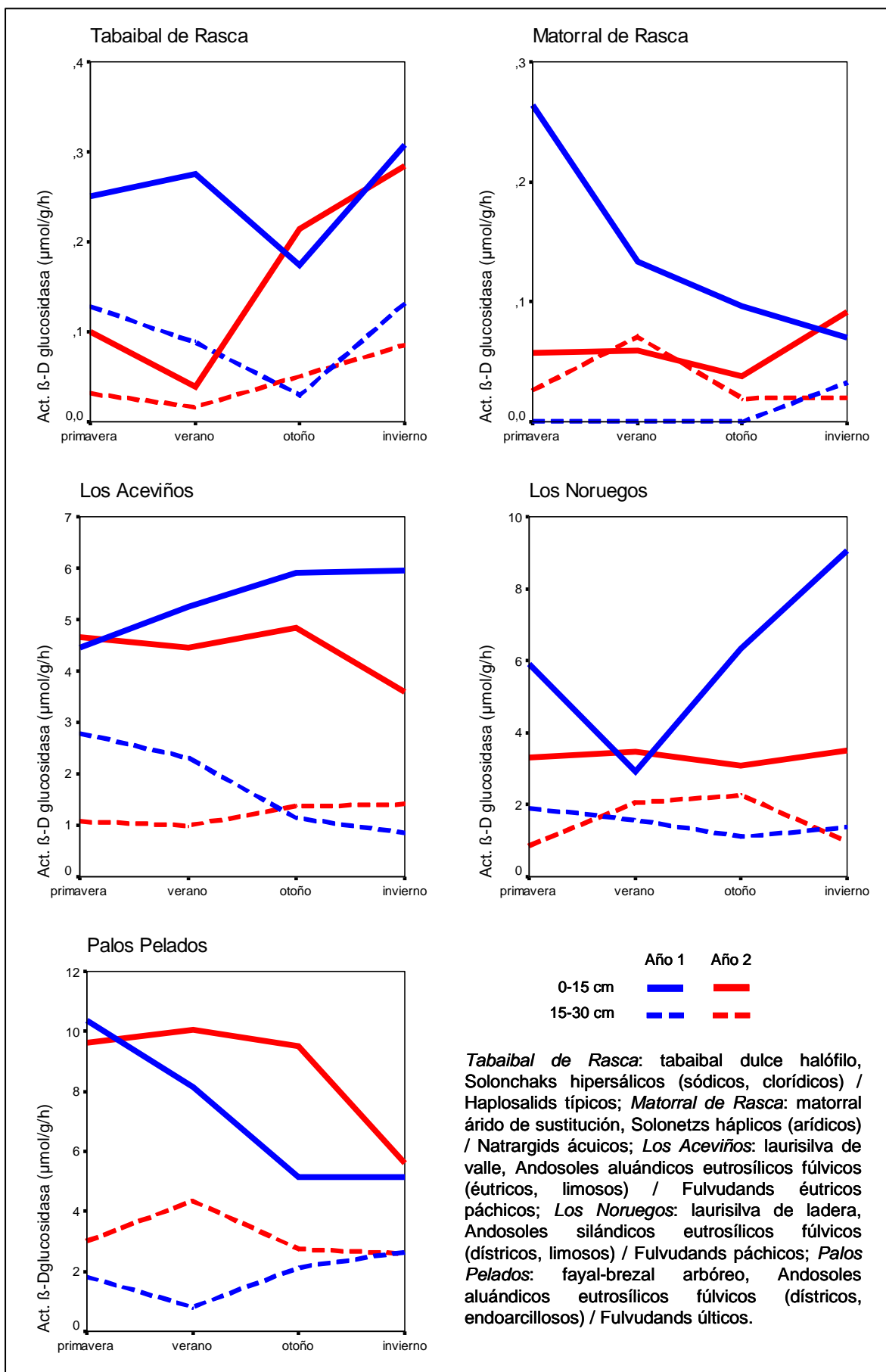


Figura V.38.a. Actividad β -D-glucosidasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

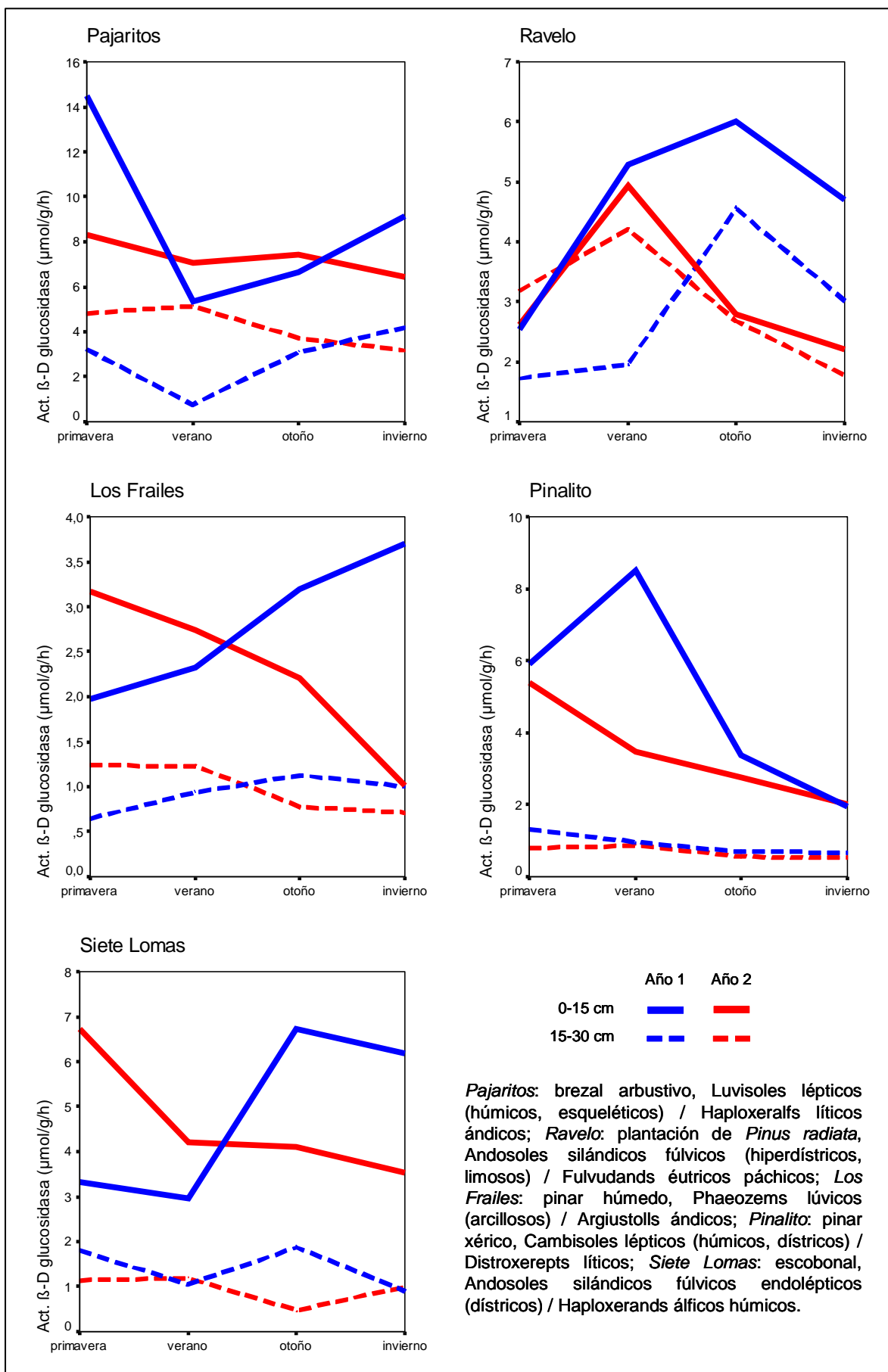


Figura V.38.b. Actividad β -D-glucosidasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

V.5.3.3. Actividad deshidrogenasa

Las enzimas deshidrogenasas del suelo ejercen un papel fundamental en las primeras etapas de oxidación de la materia orgánica (Ross, 1971) y es por ello que su actividad suele considerarse un buen indicador general de la actividad de la microbiota edáfica (Skujins, 1973; Casida, 1977; Tabatabai, 1982; Nannipieri *et al.*, 1990; Trasar-Cepeda *et al.*, 2003b). Así lo corrobora en nuestro caso, la muy significativa correlación existente entre la actividad deshidrogenasa y la respiración del suelo (Figura V.39), que refieren también autores como Aguilera *et al.* (1988) y von Mersi & Schinner (1991).

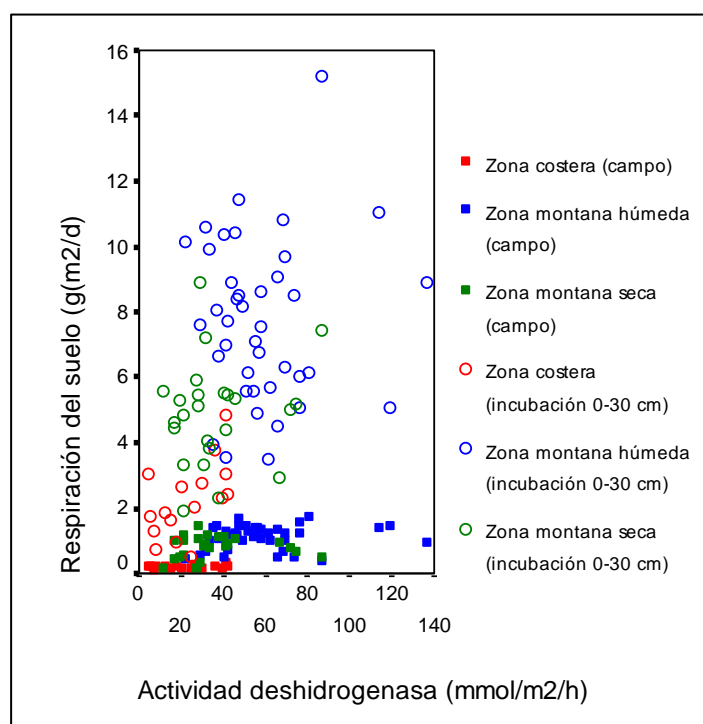


Figura V.39. Correlación entre la actividad deshidrogenasa y la respiración del suelo en el campo y en incubación

i) ZONA COSTERA

La actividad deshidrogenasa en los suelos de la zona costera es más alta en superficie (0-15 cm) y no muestra diferencias significativas interanuales, ni entre los suelos estudiados. La variación estacional tiene un comportamiento dispar en los dos años de estudio: el máximo de actividad del primer año y el mínimo del segundo se producen durante el muestreo de invierno, aunque sí se observa la tendencia a una mayor actividad en los meses de primavera respecto a los de otoño (Tabla V.84; Figura V.40.a).

| Tabla V.84. Actividad deshidrogenasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona costera | | | |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Tabaibal de Rasca | Matorral de Rasca | Total |
| Profundidad | | | |
| 0-15 cm | 0,11 \pm 0,02 | 0,08 \pm 0,02 | 0,10 \pm 0,01 |
| 15-30 cm | 0,06 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 16,8 | 1,24 | 5,45 |
| Significación | 0,026 | 0,347 | 0,036 |
| Estación | | | |
| Primavera | 0,10 \pm 0,03 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,11 \pm 0,02 a |
| Verano | 0,09 \pm 0,02 a | 0,07 \pm 0,02 a | 0,08 \pm 0,01 ab |
| Otoño | 0,06 \pm 0,02 a | 0,04 \pm 0,01 a | 0,05 \pm 0,01 ab |
| Invierno | 0,09 \pm 0,04 a | 0,07 \pm 0,04 a | 0,08 \pm 0,03 b |
| $F_{gl=3}$ | 2,14 | 3,17 | 3,41 |
| Significación | 0,274 | 0,184 | 0,050 |
| Año | | | |
| 1 | 0,08 \pm 0,02 | 0,06 \pm 0,02 | 0,07 \pm 0,01 |
| 2 | 0,09 \pm 0,02 | 0,09 \pm 0,02 | 0,09 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | 1,21 | 1,72 | 2,68 |
| Significación | 0,351 | 0,281 | 0,126 |
| Parcela | | | |
| Tabaibal de Rasca | - | - | 0,09 \pm 0,02 |
| Matorral de Rasca | - | - | 0,08 \pm 0,01 |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,78 |
| Significación | - | - | 0,394 |
| Profundidad x Estación | | | |
| $F_{gl=3}$ | 0,04 | 0,95 | 0,77 |
| Significación | 0,986 | 0,516 | 0,531 |
| Profundidad x Año | | | |
| $F_{gl=1}$ | 0,00 | 0,82 | 0,71 |
| Significación | 0,998 | 0,432 | 0,415 |
| Profundidad x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,46 |
| Significación | - | - | 0,511 |
| Estación x Año | | | |
| $F_{gl=3}$ | 23,3 | 3,42 | 7,20 |
| Significación | 0,014 | 0,170 | 0,004 |
| Estación x Parcela | | | |
| $F_{gl=3}$ | - | - | 0,73 |
| Significación | - | - | 0,553 |
| Año x Parcela | | | |
| $F_{gl=1}$ | - | - | 0,10 |
| Significación | - | - | 0,752 |
| R^2 | 0,969 | 0,898 | 0,782 |

Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$)

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

La actividad deshidrogenasa medida en los suelos del monte verde es en general mayor en superficie, y no revela grandes diferencias entre las distintas parcelas, encontrándose sólo una actividad enzimática mayor en *Pajaritos* con respecto a *Los Noruegos* (Tabla V.85; Figura V.40). Únicamente se observan diferencias estacionales e interanuales en los suelos de *Pajaritos*, con valores mayores en primavera respecto a los meses de verano, y una actividad algo más alta el segundo año de muestreo.

| Tabla V.85. Actividad deshidrogenasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Aceviños | Los Noruegos | Palos Pelados | Pajaritos | Ravelo | Total |
| Profundidad | | | | | | |
| 0-15 cm | 0,63 \pm 0,04 | 0,49 \pm 0,10 | 0,65 \pm 0,12 | 0,86 \pm 0,18 | 0,55 \pm 0,05 | 0,64 \pm 0,05 |
| 15-30 cm | 0,28 \pm 0,02 | 0,33 \pm 0,05 | 0,36 \pm 0,07 | 0,41 \pm 0,09 | 0,43 \pm 0,05 | 0,36 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 29,3 | 4,64 | 10,2 | 152,0 | 4,18 | 75,4 |
| Significación | 0,012 | 0,120 | 0,050 | 0,001 | 0,134 | 0,000 |
| Estación | | | | | | |
| Primavera | 0,39 \pm 0,08 a | 0,55 \pm 0,20 a | 0,75 \pm 0,23 a | 0,90 \pm 0,37 a | 0,49 \pm 0,11 a | 0,62 \pm 0,10 a |
| Verano | 0,47 \pm 0,13 a | 0,26 \pm 0,04 a | 0,26 \pm 0,06 a | 0,53 \pm 0,19 b | 0,59 \pm 0,07 a | 0,42 \pm 0,05 b |
| Otoño | 0,47 \pm 0,11 a | 0,46 \pm 0,08 a | 0,55 \pm 0,11 a | 0,58 \pm 0,17 ab | 0,46 \pm 0,05 a | 0,50 \pm 0,05 a |
| Invierno | 0,51 \pm 0,11 a | 0,38 \pm 0,04 a | 0,47 \pm 0,08 a | 0,55 \pm 0,16 ab | 0,41 \pm 0,05 a | 0,46 \pm 0,04 ab |
| F _{gl=3} | 0,54 | 2,32 | 5,06 | 13,7 | 1,66 | 5,02 |
| Significación | 0,685 | 0,254 | 0,108 | 0,029 | 0,343 | 0,005 |
| Año | | | | | | |
| 1 | 0,45 \pm 0,07 | 0,44 \pm 0,10 | 0,52 \pm 0,14 | 0,61 \pm 0,21 | 0,52 \pm 0,06 | 0,51 \pm 0,06 |
| 2 | 0,47 \pm 0,08 | 0,38 \pm 0,06 | 0,50 \pm 0,08 | 0,67 \pm 0,11 | 0,45 \pm 0,05 | 0,49 \pm 0,04 |
| F _{gl=1} | 0,01 | 0,21 | 0,02 | 24,6 | 1,43 | 0,09 |
| Significación | 0,920 | 0,682 | 0,890 | 0,016 | 0,317 | 0,763 |
| Parcela | | | | | | |
| Los Aceviños | - | - | - | - | - | 0,46 \pm 0,05 ab |
| Los Noruegos | - | - | - | - | - | 0,41 \pm 0,06 a |
| Palos Pelados | - | - | - | - | - | 0,51 \pm 0,08 ab |
| Pajaritos | - | - | - | - | - | 0,64 \pm 0,11 b |
| Ravelo | - | - | - | - | - | 0,49 \pm 0,04 ab |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 3,27 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,020 |
| Profundidad x Estación | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,05 | 0,18 | 0,30 | 7,23 | 0,13 | 0,62 |
| Significación | 0,983 | 0,903 | 0,825 | 0,069 | 0,936 | 0,604 |
| Profundidad x Año | | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,02 | 0,61 | 0,28 | 0,12 | 1,22 | 0,97 |
| Significación | 0,891 | 0,492 | 0,633 | 0,748 | 0,349 | 0,331 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 2,63 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,047 |
| Estación x Año | | | | | | |
| F _{gl=3} | 0,66 | 4,07 | 2,77 | 80,1 | 3,31 | 20,2 |
| Significación | 0,630 | 0,139 | 0,213 | 0,002 | 0,176 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=12} | - | - | - | - | - | 2,79 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,007 |
| Año x Parcela | | | | | | |
| F _{gl=4} | - | - | - | - | - | 1,39 |
| Significación | - | - | - | - | - | 0,255 |
| R ² | 0,917 | 0,893 | 0,921 | 0,994 | 0,881 | 0,834 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, p \leq 0,05) | | | | | | |

iii) ZONA MONTANA SECA

Los resultados obtenidos en el ecosistema montano seco muestran una actividad deshidrogenasa más alta en superficie (0-15 cm) que en profundidad (15-30 cm), y algo mayor en los suelos de *Los Frailes* respecto a los de *Siete Lomas* (Tabla V.86; Figura V.40.b). No se detectan diferencias estacionales ni interanuales en ningún caso.

| Tabla V.86. Actividad deshidrogenasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$) (media \pm e. t.) en los suelos de la zona montana seca | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Parcela | Los Frailes | Pinalito | Siete Lomas | Total |
| Profundidad | | | | |
| 0-15 cm | 0,43 \pm 0,06 | 0,39 \pm 0,07 | 0,23 \pm 0,03 | 0,35 \pm 0,03 |
| 15-30 cm | 0,21 \pm 0,04 | 0,19 \pm 0,04 | 0,14 \pm 0,02 | 0,18 \pm 0,02 |
| F _{gl=1} | 52,8 | 27,0 | 13,3 | 56,3 |
| Significación | 0,005 | 0,014 | 0,036 | 0,000 |
| Estación | | | | |
| Primavera | 0,32 \pm 0,10 a | 0,43 \pm 0,13 a | 0,21 \pm 0,04 a | 0,32 \pm 0,06 a |
| Verano | 0,35 \pm 0,12 a | 0,30 \pm 0,07 a | 0,12 \pm 0,02 a | 0,26 \pm 0,05 a |
| Otoño | 0,35 \pm 0,09 a | 0,24 \pm 0,06 a | 0,20 \pm 0,05 a | 0,26 \pm 0,04 a |
| Invierno | 0,25 \pm 0,07 a | 0,19 \pm 0,06 a | 0,19 \pm 0,04 a | 0,21 \pm 0,03 a |
| F _{gl=3} | 2,33 | 5,83 | 2,71 | 2,53 |
| Significación | 0,253 | 0,091 | 0,217 | 0,082 |
| Año | | | | |
| 1 | 0,29 \pm 0,06 | 0,29 \pm 0,08 | 0,18 \pm 0,04 | 0,25 \pm 0,04 |
| 2 | 0,34 \pm 0,07 | 0,29 \pm 0,05 | 0,18 \pm 0,02 | 0,27 \pm 0,03 |
| F _{gl=1} | 2,69 | 0,24 | 0,01 | 1,81 |
| Significación | 0,199 | 0,659 | 0,924 | 0,192 |
| Parcela | | | | |
| Los Frailes | - | - | - | 0,32 \pm 0,04 a |
| Pinalito | - | - | - | 0,29 \pm 0,05 ab |
| Siete Lomas | - | - | - | 0,18 \pm 0,02 b |
| F _{gl=2} | - | - | - | 10,0 |
| Significación | - | - | - | 0,001 |
| Profundidad x Estación | | | | |
| F _{gl=3} | 0,53 | 1,02 | 0,47 | 0,11 |
| Significación | 0,691 | 0,494 | 0,724 | 0,951 |
| Profundidad x Año | | | | |
| F _{gl=1} | 0,11 | 1,75 | 0,06 | 0,04 |
| Significación | 0,761 | 0,278 | 0,819 | 0,846 |
| Profundidad x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,58 |
| Significación | - | - | - | 0,569 |
| Estación x Año | | | | |
| F _{gl=3} | 19,5 | 6,76 | 4,61 | 13,5 |
| Significación | 0,018 | 0,075 | 0,121 | 0,000 |
| Estación x Parcela | | | | |
| F _{gl=6} | - | - | - | 2,21 |
| Significación | - | - | - | 0,079 |
| Año x Parcela | | | | |
| F _{gl=2} | - | - | - | 0,07 |
| Significación | - | - | - | 0,931 |
| R ² | 0,976 | 0,959 | 0,924 | 0,860 |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA / Test de Tukey, $p \leq 0,05$) | | | | |

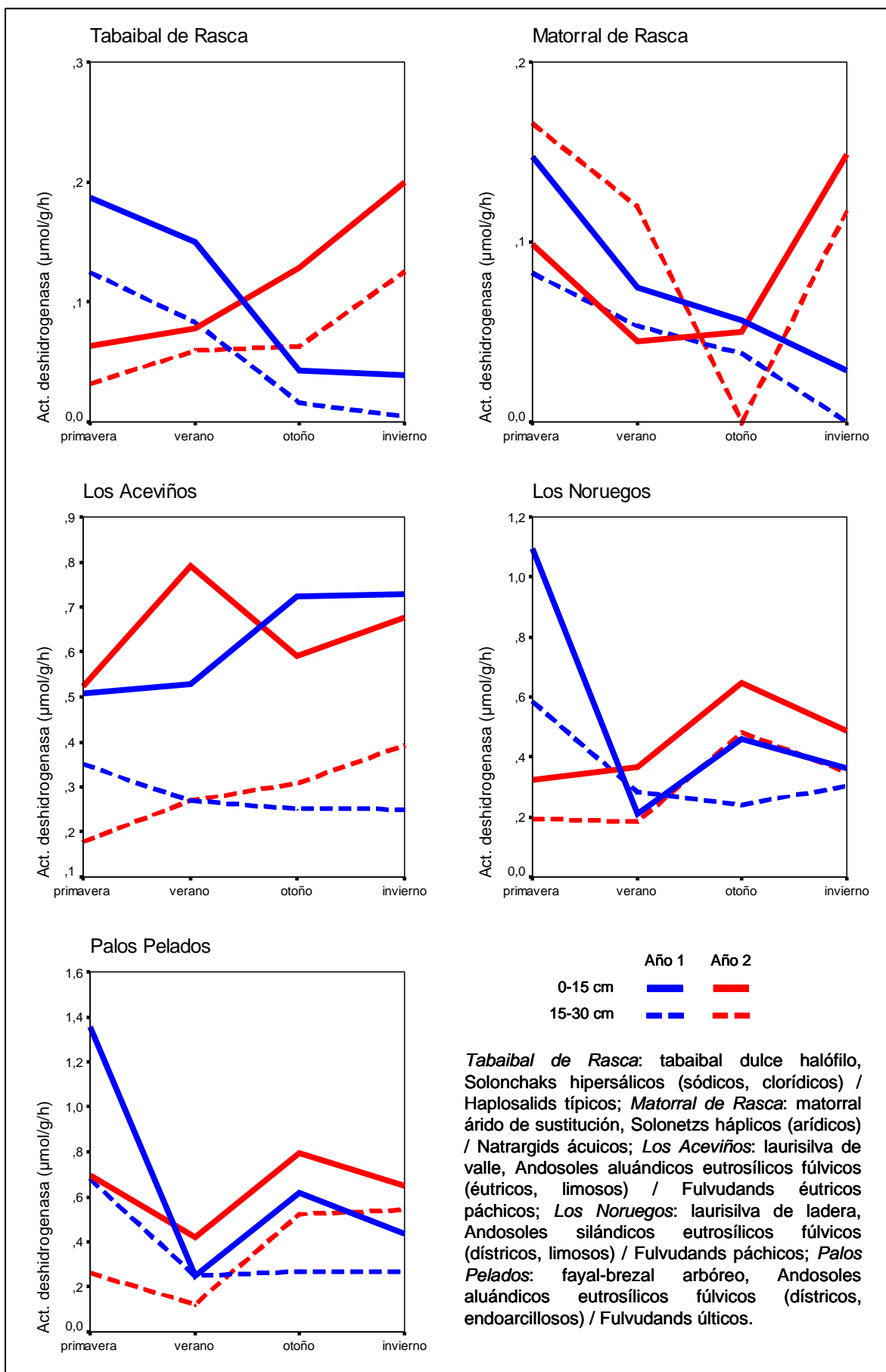


Figura V.40.a. Actividad deshidrogenasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

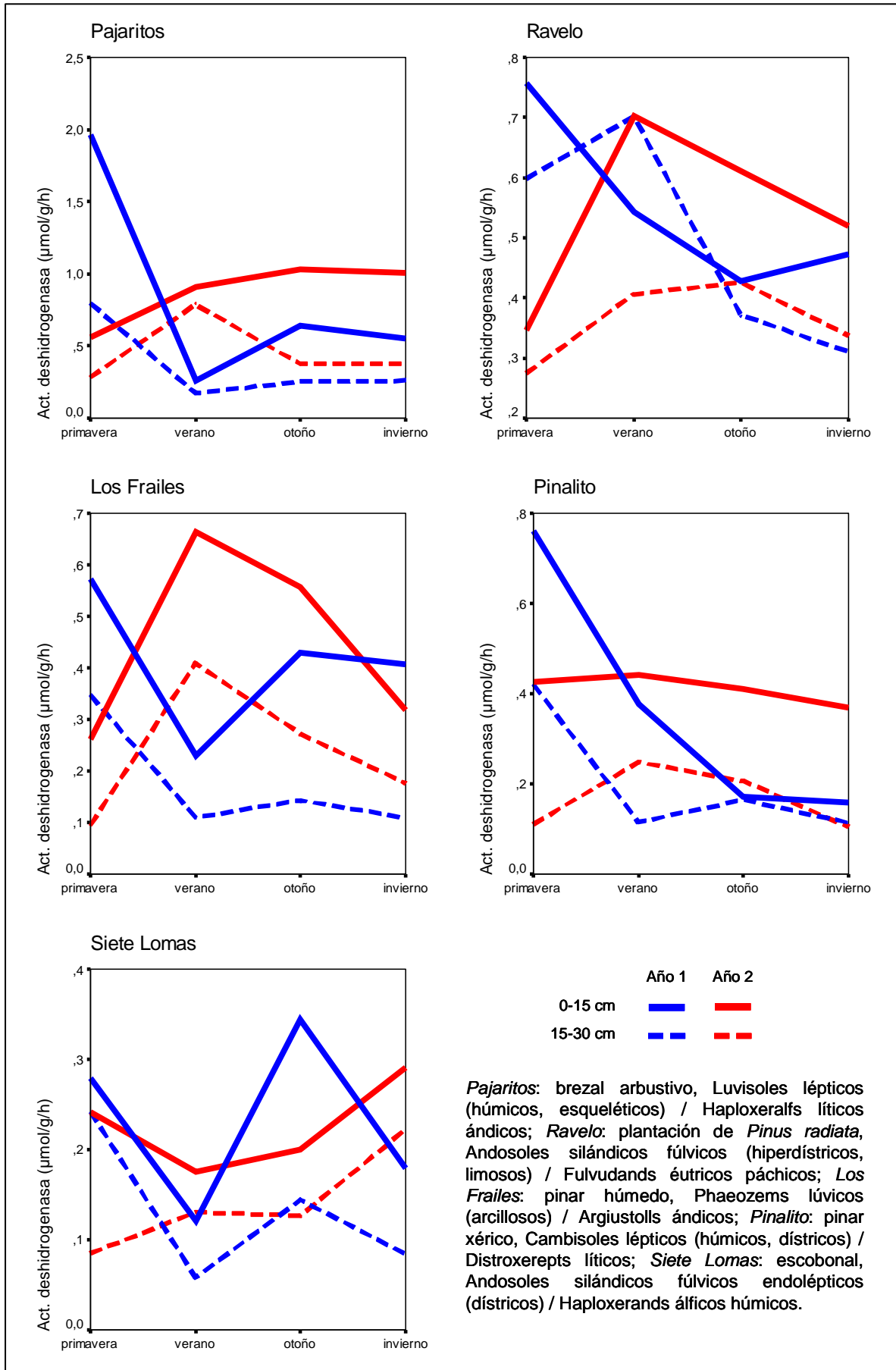


Figura V.40.b. Actividad deshidrogenasa ($\mu\text{mol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)

V.6. BALANCE DE LOS APORTES, EMISIONES Y CONTENIDOS DE CARBONO DEL SUELO

Con el objetivo de evaluar si los suelos estudiados se comportan como sumideros o emisores de CO₂, estudiamos el balance interanual de los aportes y pérdidas experimentados por el suelo a partir de la caída de hojarasca (Sección V.1.2), las emisiones de dióxido de carbono (Sección V.5.1) y la variación experimentada por los reservorios de carbono contenidos en el suelo (Sección V.4.1) y las raíces de la vegetación (Sección V.2.1).

La edafosfera incluye dos compartimentos: las raíces de la vegetación y el suelo propiamente dicho, íntimamente ligados pero con entradas y salidas de carbono bien distintas. El aporte de carbono a las raíces proviene sobre todo del flujo de compuestos hidrocarbonados procedentes de la actividad fotosintética del vástago aéreo. Una porción de este carbono es secretado a la rizosfera en forma de exudados, invirtiéndose el resto en el crecimiento del sistema radicular, o emitiéndose en forma de CO₂ debido a la respiración de las raíces. El suelo recibe entradas de carbono en forma de hojarasca, de exudados radiculares y de tejidos vegetales procedentes de raíces muertas, y pierde carbono en forma de emisiones de CO₂ por la respiración de la biota edáfica, y en algunos casos a causa de procesos erosivos que sustraen materia del suelo.

Realizamos una primera aproximación al balance de carbono considerando en su conjunto el sistema raíces-suelo en los primeros 30 cm de profundidad, basándonos en la hipótesis de que el contenido de carbono de los horizontes subsuperficiales tiene un comportamiento mucho más estático que el de los superficiales, y puede suponerse prácticamente inerte a la escala de tiempo considerada, de sólo dos años. Las entradas de carbono al sistema proceden fundamentalmente del desfronde y del aporte de fotosintatos de la planta a sus raíces. Por su parte, las pérdidas se producen por la respiración de las raíces y de la biota del suelo, que estimamos a partir de la emisión de CO₂ medida en el campo.

De acuerdo a este planteamiento, podemos describir el balance de emisiones y aportes de carbono al sistema raíces-suelo mediante la siguiente expresión sencilla:

$$\Delta C (\text{suelo}) + \Delta C (\text{raíces}) = \text{Desfronde} - \text{Respiración} + \text{Aporte de fotosintatos}$$

La Tabla V.87 detalla los resultados del balance de carbono de suelos, raíces, desfronde y respiración de campo. Comprobamos una reducción significativa del stock de carbono en el suelo y un aumento de las emisiones de CO₂, en tanto que el stock de carbono de las raíces y los aportes de hojarasca permanecen relativamente constantes.

| | Año 1 | Año 2 | t ₉ | Sig. | Balance |
|--|--------------|-------------|----------------|-------|--------------|
| C-suelo | 116,4 ± 24,2 | 97,7 ± 21,3 | 2,95 | 0,016 | -18,6 ± 6,3 |
| C-raíces | 2,27 ± 0,55 | 2,19 ± 0,55 | 0,41 | 0,693 | -0,07 ± 0,55 |
| Emisiones de C-CO ₂ (campo) | 2,85 ± 0,47 | 3,32 ± 0,46 | -2,35 | 0,044 | 6,17 ± 0,90 |
| Aporte de hojarasca | 2,08 ± 0,39 | 2,44 ± 0,52 | -1,00 | 0,342 | 4,52 ± 0,84 |

Sin embargo, la pérdida de carbono del suelo observada es muy superior a la que se deduce del balance entre los aportes de hojarasca y la emisión de CO₂, aún más si contamos con el aporte de fotosintatos, cuya magnitud desconocemos. Este desajuste sólo se explicaría por la pérdida de una gran cantidad de carbono del suelo por mecanismos distintos a su emisión en forma de CO₂; o, más probablemente, por una subestimación de las tasas respiratorias por el método de campo, que como ya se ha señalado anteriormente, tiende a infravalorar las emisiones cuando el flujo de CO₂ es intenso (ver Sección V.5.1).

Como alternativa al uso de las tasas de respiración de campo, pueden también utilizarse en el cálculo los valores de respiración del suelo obtenidos en el laboratorio, en especial los del primer día del ensayo de incubación, presumiblemente más próximos a la respiración natural del suelo. En este caso, el balance de carbono, ahora exclusivamente concerniente al suelo, respondería a la expresión:

$$\Delta C (\text{suelo}) = \text{Desfronde} - \text{Respiración} + \text{Aporte de exudados radiculares}$$

De los resultados de este cálculo (Tabla V.88) se deduciría un aporte de C en forma de exudados de las raíces de $52,0 \pm 8,7 \text{ t ha}^{-1}$, 11,5 veces mayor que el aporte en forma de hojarasca. De acuerdo a la literatura existente, la exudación supone entre un 5 y un 33% aproximado de la fijación diaria de C (Cadish & Giller, 1997; Robinson *et al.*, 2003) e incluye sustancias muy diversas: aminoácidos, ácidos orgánicos de bajo peso molecular, azúcares simples y complejos, reguladores de crecimiento, enzimas, ácidos grasos, nucleótidos, taninos, esteroides, flavonoides, fenólicos, terpenoides, alcaloides y vitaminas (Inderjit & Weston, 2003). La producción primaria neta, considerada habitualmente como equivalente al desfronde, supone como promedio un 30% de la producción total del ecosistema, aunque oscilando en un rango amplio entre un 12% en bosques tropicales, 30% en bosques templados y 50% en pastos, de acuerdo a los datos de Terradas (2001). Si tomamos como guía las biomásas relativas de los sistemas radiculares, los menores aportes de exudados de las raíces se producen en el ecosistema costero, intermedios en el pinar y máximos en el monteverde.

| | Año 1 | Año 2 | t ₀ | Sig. | Balance |
|--|------------------|-----------------|----------------|-------|-----------------|
| C-suelo | 116,4 \pm 24,2 | 97,7 \pm 21,3 | 2,95 | 0,016 | -18,6 \pm 6,3 |
| Emisiones de C-CO ₂ (laboratorio) | 42,3 \pm 4,4 | 32,9 \pm 3,9 | 2,78 | 0,021 | 75,2 \pm 7,7 |
| Aporte de hojarasca | 2,08 \pm 0,39 | 2,44 \pm 0,52 | -1,00 | 0,342 | 4,52 \pm 0,84 |

En cualquier caso, los resultados sugieren un predominio del carácter emisor de CO₂ de los suelos estudiados frente a su papel como sumidero. Durante el periodo de estudio, los suelos parecen haber experimentado un predominio neto de los procesos de mineralización frente a los de incorporación de carbono, resultado del cual se habría producido una reducción significativa del contenido de carbono. Los resultados obtenidos revelan un inusitado dinamismo de los contenidos de carbono orgánico del suelo, evidenciándose variaciones significativas de los mismos en periodos tan cortos como un par de años, y ponen de manifiesto la utilidad del estudio de los flujos biogeoquímicos en el suelo en relación a los posibles efectos del cambio global en el ecosistema edáfico.

V.7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos al respecto de la dinámica temporal de las distintas formas de carbono y de la actividad biológica de los suelos, revelan marcadas diferencias en función de:

- a) el distinto grado de evolución de los suelos y el mayor o menor carácter ándico que han adquirido en su edafogénesis
- b) las características del clima y de la vegetación propias de los hábitats de estudio
- c) el grado de perturbación reinante en el ecosistema y la existencia de procesos sucesionales progresivos y regresivos.

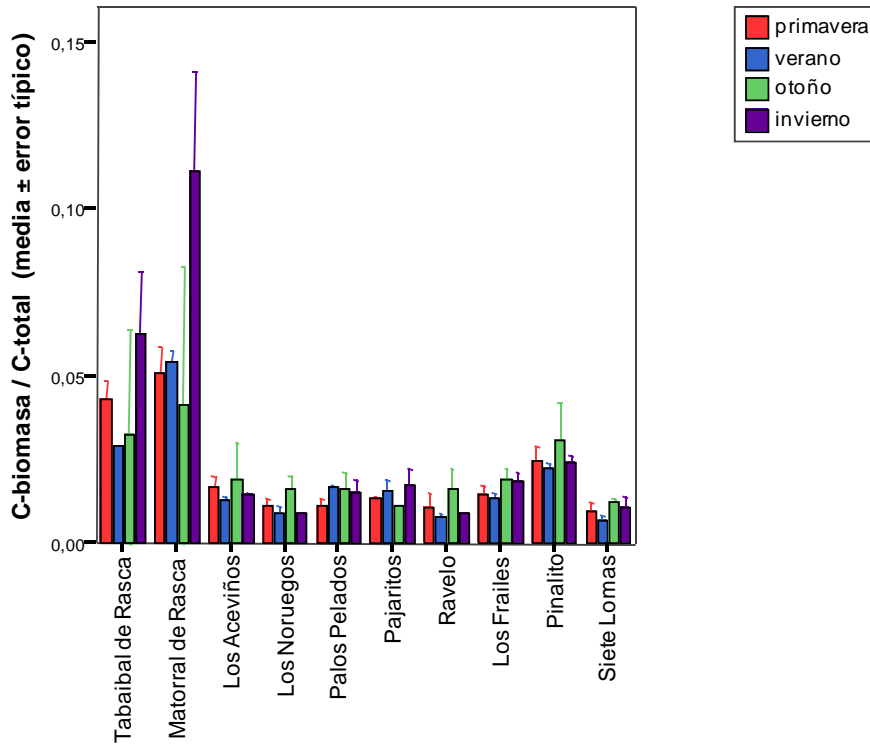
Además de la influencia de estos factores, se evidencia una tendencia global a la reducción del carbono orgánico del suelo, resultado del predominio de las emisiones y otros procesos de pérdida de carbono respecto a los aportes, procedentes fundamentalmente de los organismos vivos, durante el periodo de estudio.

El mayor dinamismo temporal en las fracciones de carbono se observa en las que consideramos como más activas o lábiles: el carbono ligado a la biomasa microbiana, el carbono soluble en sulfato potásico, el carbono soluble en agua del suelo fresco, el carbono soluble en agua caliente y el carbono disuelto en extracto saturado de suelo. En general, todas ellas varían significativamente a lo largo del año, mostrando en verano su mayor proporción respecto al carbono total (Figuras V.41-V.45). Sólo el carbono ligado a la biomasa microbiana tiene su mayor abundancia relativa en invierno y mínima en verano, coincidiendo con los contenidos relativos mínimos y máximos, respectivamente, del carbono extraíble con sulfato potásico; esta correlación temporal sugiere la existencia de un intercambio periódico de carbono entre ambas fracciones, relacionada con el ciclo climático estacional. En general, la importancia relativa de las fracciones de carbono lábil coincide con los valores medios citados en la bibliografía (Tabla V.89).

Por el contrario, la proporción del carbono en formas complejadas (Figura V.46), estudiada en los suelos de los ecosistemas montanos, se caracteriza por su estatismo, relacionado con su carácter pasivo o lentamente oxidable; y por mostrar valores muy elevados, de un 40-50% (Tabla V.89), reflejo del alto grado de complejación de la materia orgánica con minerales con ordenación de corto alcance, característicamente abundantes en suelos volcánicos.

El carbono orgánico del suelo se completa con una fracción de carbono oxidable no-extraíble con pirofosfato sódico, que a esta profundidad se corresponde principalmente con restos vegetales sin apenas descomponer, y sólo en menor medida, con huminas de insolubilización extraíbles y no extraíbles, que son más abundantes a mayor profundidad. Esta fracción supone en torno a un 55% del carbono orgánico del suelo entre 0 y 30 cm en los ecosistemas montanos, y hasta un 90% en el ecosistema costero.

0-15 cm



15-30 cm

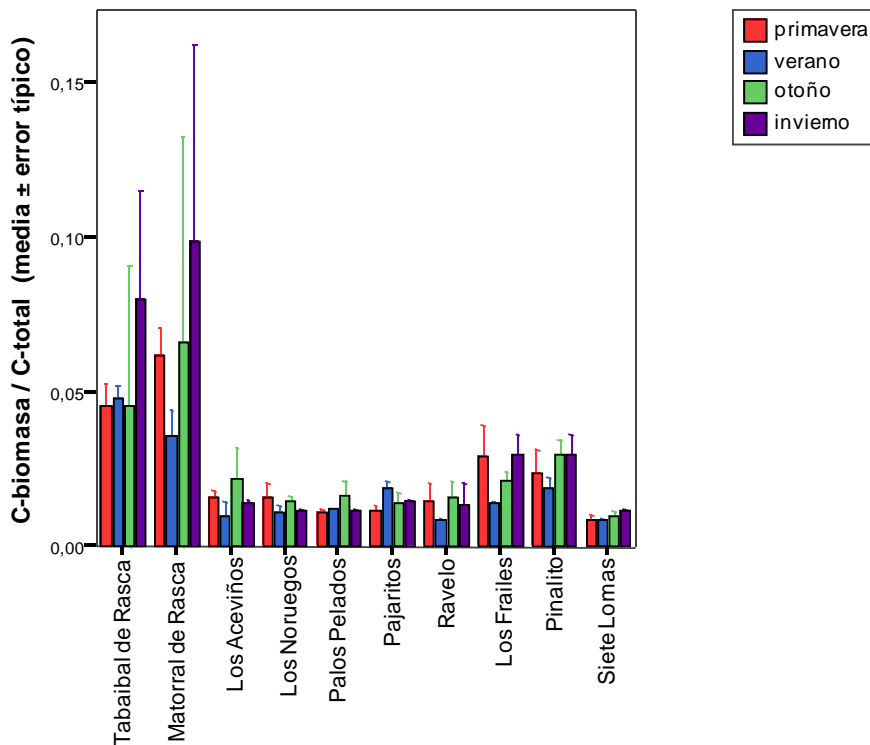


Figura V.41. Proporción relativa del carbono ligado a la biomasa microbiana respecto al carbono total

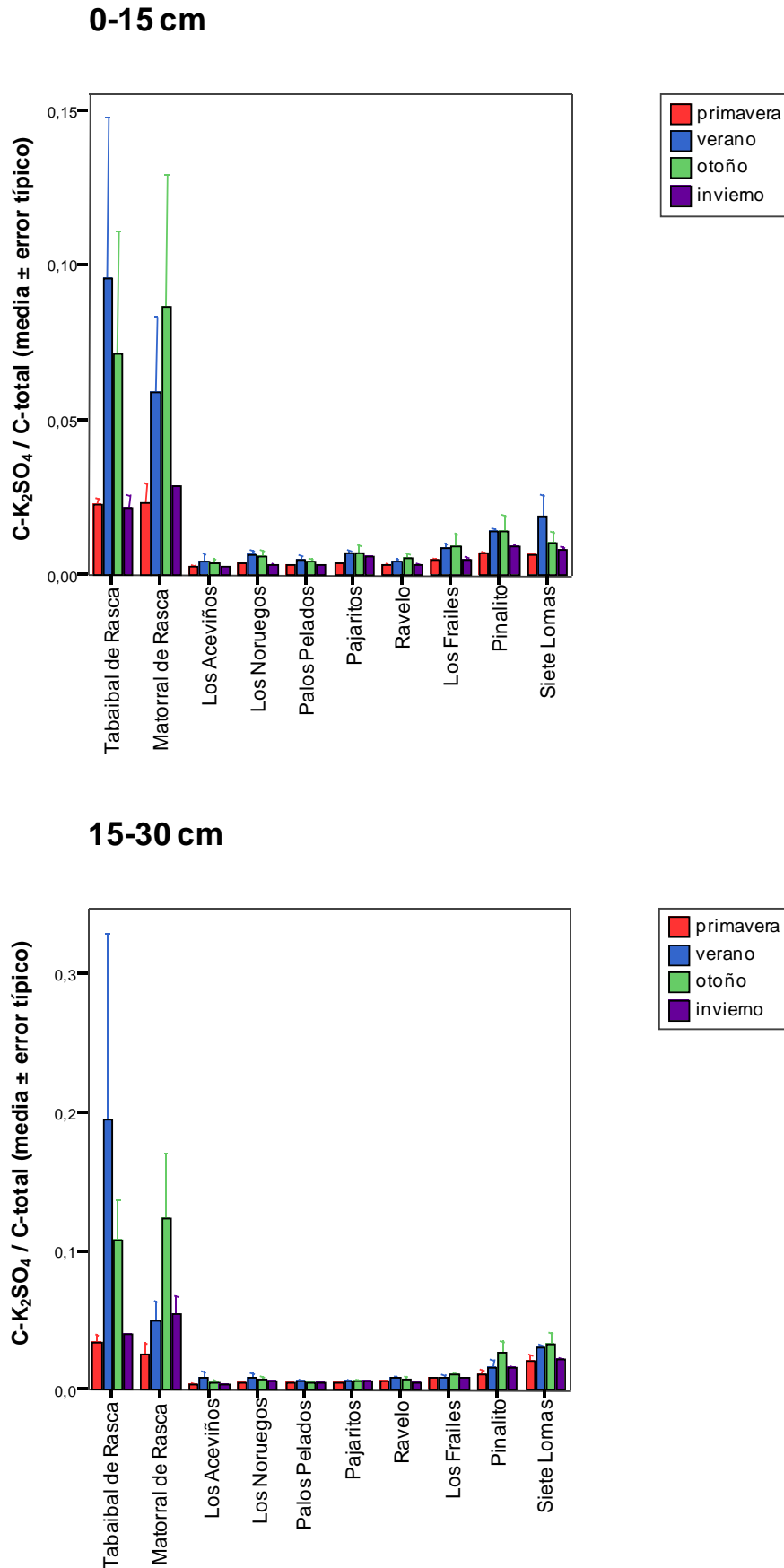


Figura V.42. Proporción relativa del carbono extraíble con sulfato potásico respecto al carbono total

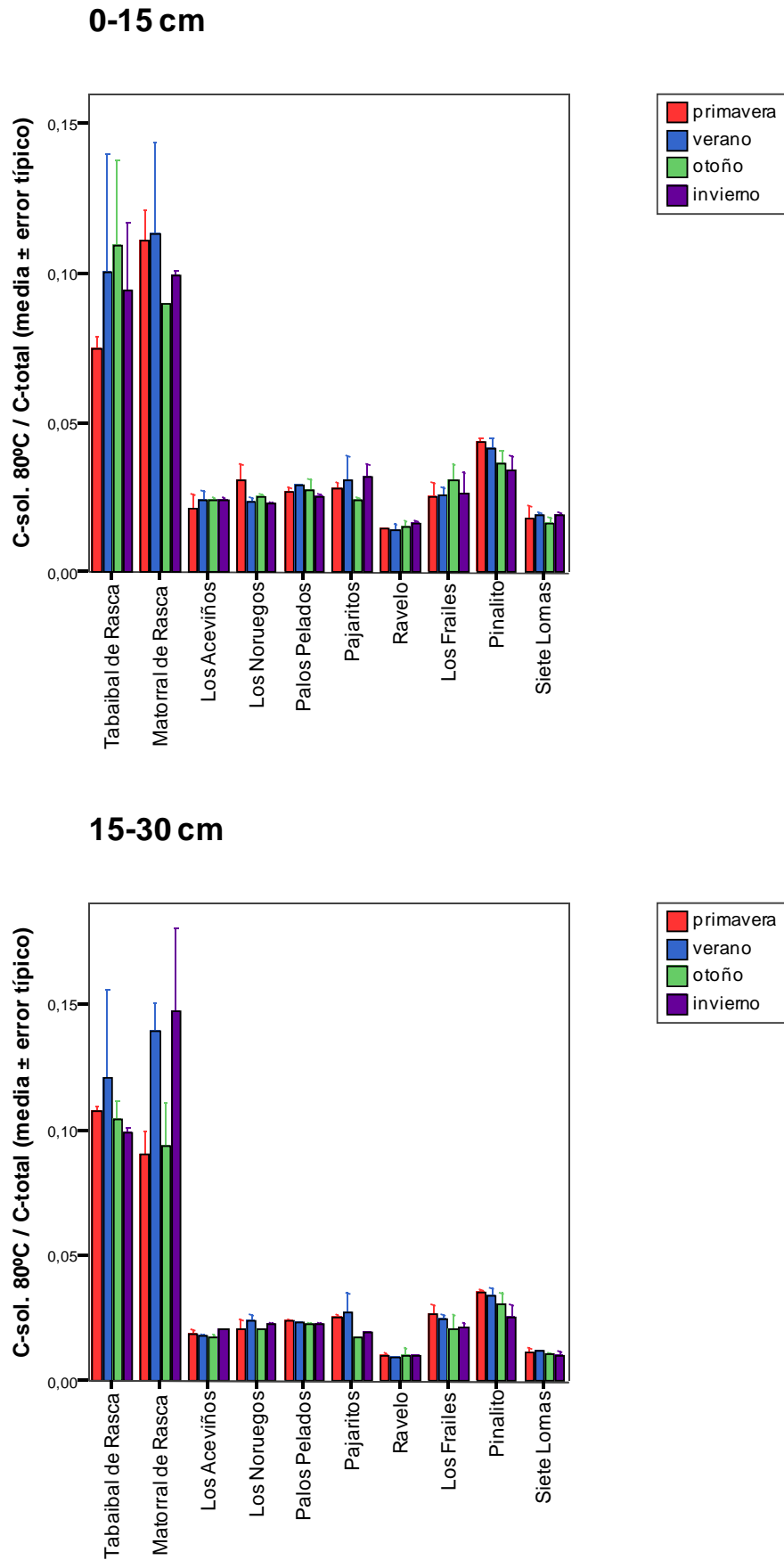


Figura V.43. Proporción relativa del carbono soluble en agua caliente respecto al carbono total

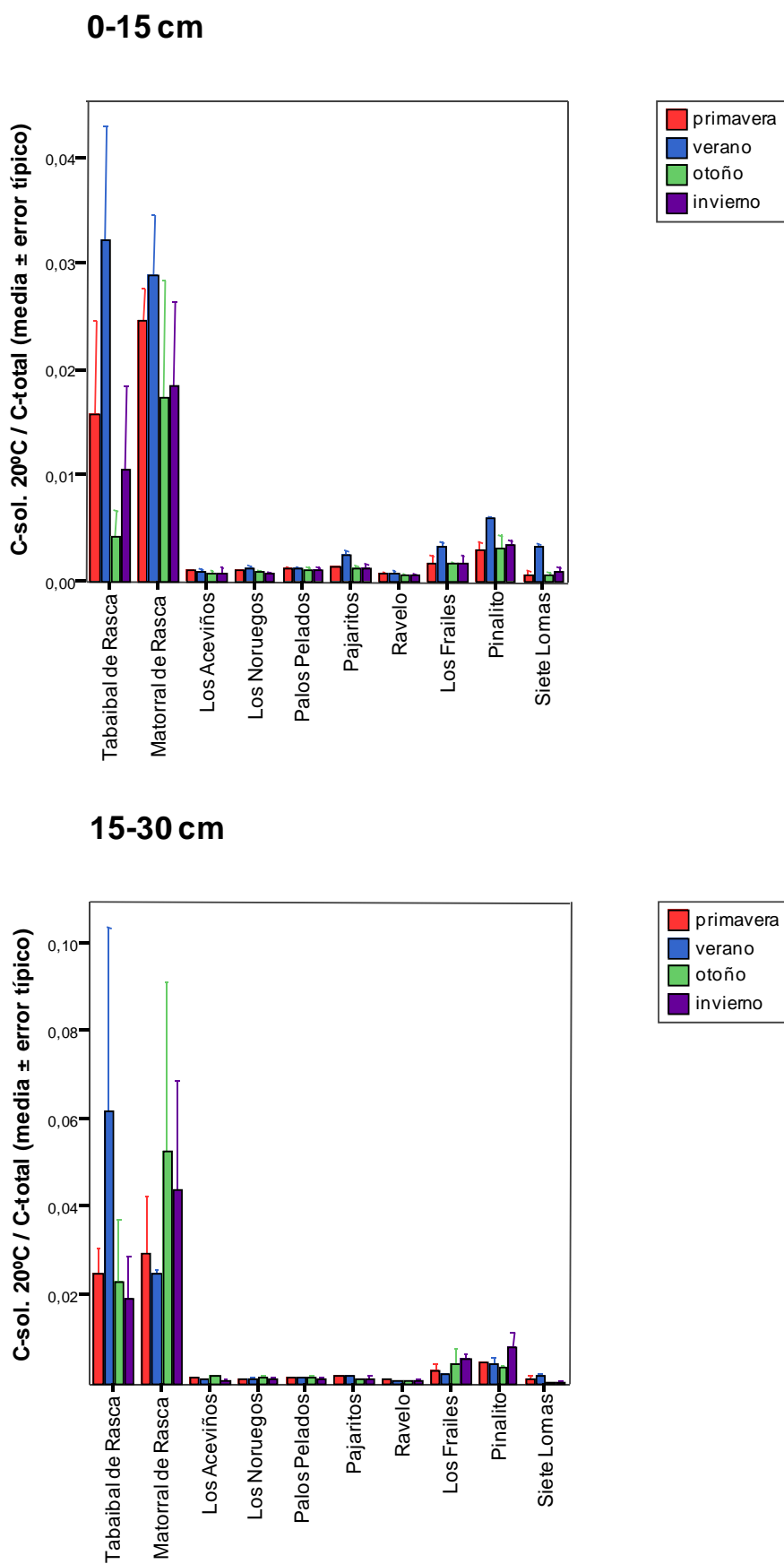


Figura V.44. Proporción relativa del carbono soluble del suelo fresco respecto al carbono total

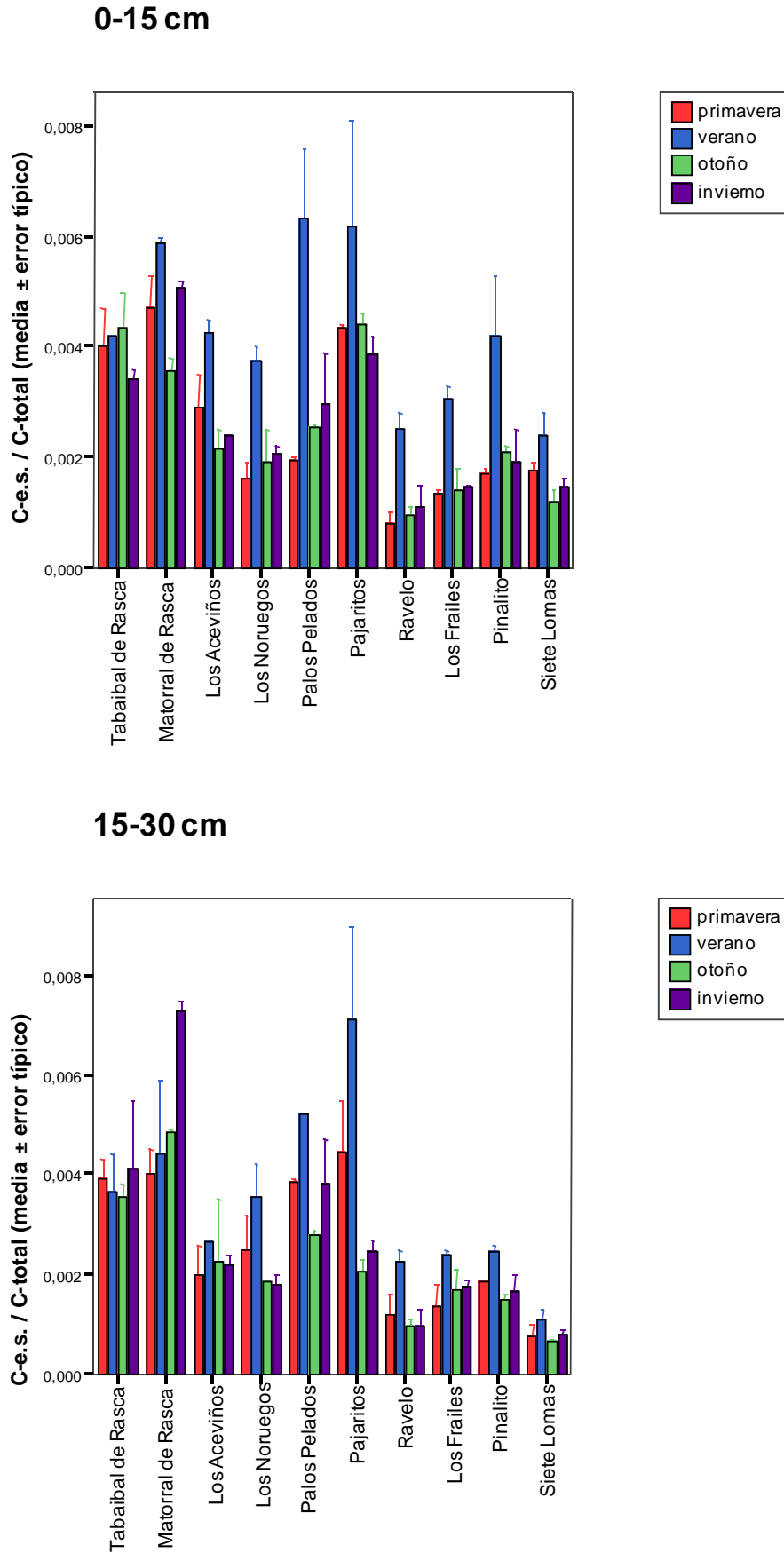


Figura V.45. Proporción relativa del carbono disuelto en el extracto de saturación respecto al carbono total

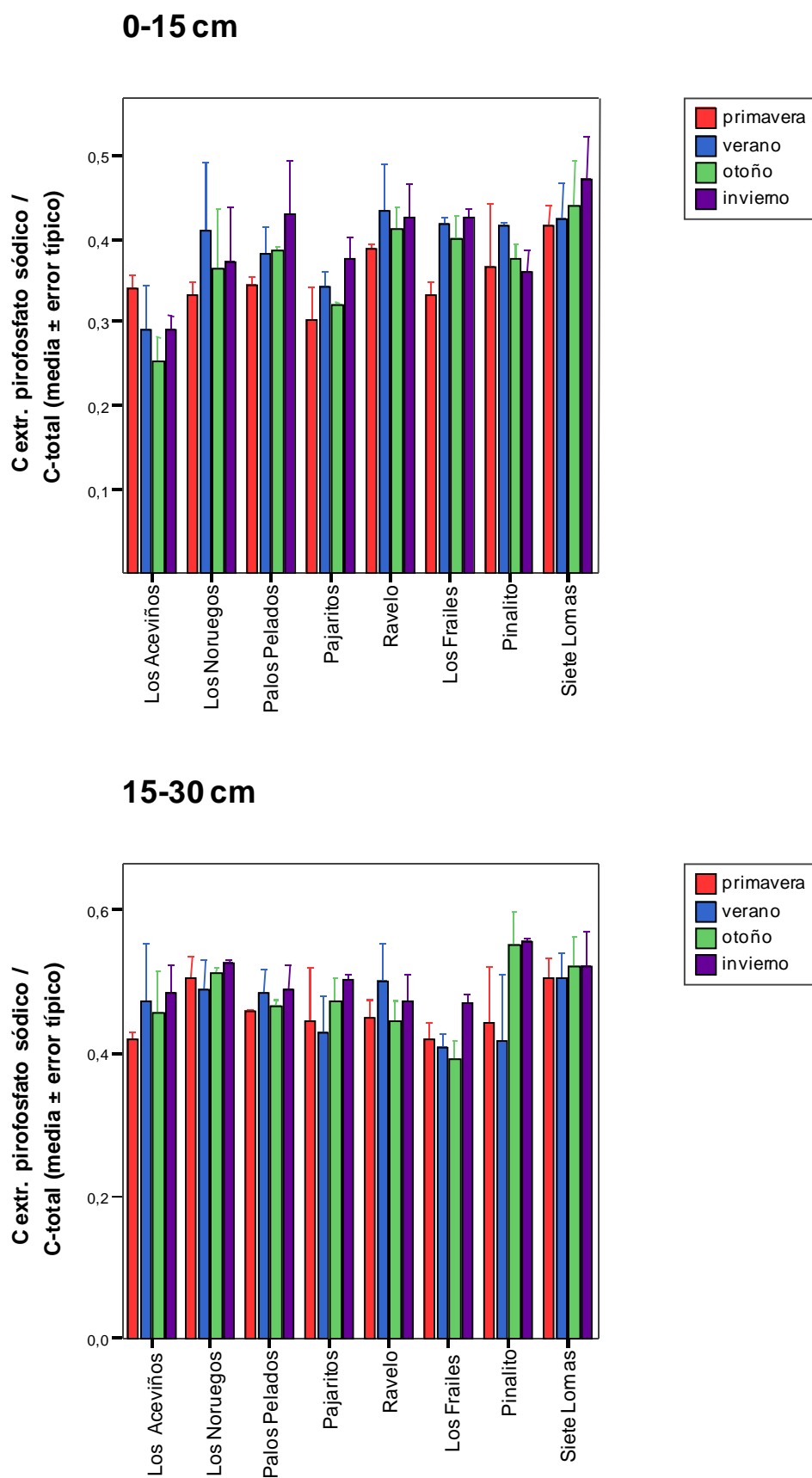


Figura V.46. Proporción relativa del carbono extraíble con pirofosfato sódico respecto al carbono total

Tabla V.89. Resultados obtenidos (media ± desviación típica) y referidos por otros autores, sobre proporciones relativas de las fracciones de carbono y medidas de actividad biológica de suelos

| cm | Ecosistema costero | | Ecosistema montano húmedo | | Ecosistema montano seco | | Valores de referencia (von Lützow <i>et al.</i> , 2007; García Izquierdo <i>et al.</i> , 2003) |
|--|--------------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---|
| | 0-15 | 15-30 | 0-15 | 15-30 | 0-15 | 15-30 | |
| C biomasa / C total (%) | 5,3 ± 3,4 | 6,0 ± 4,5 | 1,3 ± 0,5 | 1,4 ± 0,5 | 1,7 ± 0,8 | 1,9 ± 1,0 | 0,3-7 (1-3) |
| C disuelto (suelo fresco) / C total (%) | 1,9 ± 1,2 | 3,5 ± 2,8 | 0,10 ± 0,05 | 0,11 ± 0,04 | 0,24 ± 0,16 | 0,33 ± 0,28 | 0,05-0,4 (agrícola) 0,25-2 (forestal) |
| C disuelto (pasta saturada)/C total (%) | 0,44 ± 0,09 | 0,45 ± 0,14 | 0,29 ± 0,17 | 0,28 ± 0,16 | 0,20 ± 0,09 | 0,15 ± 0,06 | |
| C soluble 80°C / C total (%) | 9,9 ± 2,6 | 11,3 ± 2,8 | 2,4 ± 0,6 | 1,9 ± 0,6 | 2,8 ± 1,0 | 2,2 ± 0,9 | 1-5 |
| C-pirofosfato sódico / C total (%) | - | - | 36,1 ± 6,5 | 47,5 ± 4,8 | 40,5 ± 5,3 | 47,7 ± 7,4 | 13-25 |
| Actividad CM-celulasa (µmol g ⁻¹ h ⁻¹) | 0,0 | 0,0 | 0,39 ± 0,22 | 0,31 ± 0,17 | 0,31 ± 0,15 | 0,12 ± 0,07 | 7,5-175 |
| Actividad β-glucosidasa (µmol PNP g ⁻¹ h ⁻¹) | 0,15 ± 0,09 | 0,05 ± 0,04 | 5,9 ± 2,6 | 2,4 ± 1,2 | 3,8 ± 1,9 | 1,0 ± 0,4 | 2-30 (hor. O); 0,7-4,6 (hor. A _h); 0,15 (agrícola); 0,32 (agrícola abandonado); 0,76 (natural); 2,7 (enmendado) |
| Actividad deshidrogenasa (µmol INTF g ⁻¹ h ⁻¹) | 0,10 ± 0,06 | 0,07 ± 0,05 | 0,64 ± 0,32 | 0,36 ± 0,17 | 0,35 ± 0,17 | 0,18 ± 0,10 | 0,24-1,3 (<i>förnas</i> forestal); 0,10-0,34 (hor. Ah forestal); 0,19-0,97 (forestal mediterráneo); 0,55-1,40 (prado) |
| Respiración en incubación (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ día ⁻¹) | 8,2 ± 5,0 | 7,3 ± 4,1 | 100 ± 44 | 35 ± 15 | 58 ± 22 | 16 ± 7 | 7,2 (arenoso bajo castañar); 15-32 (agrícola); 23-55 (degradado en zona árida); 53-86 (enmendado) |
| Respiración de campo (mg C-CO ₂ m ⁻² h ⁻¹) | 9,0 ± 2,2 | | 46,3 ± 15,0 | | 34,2 ± 14,0 | | 33-65 (en bosque semiárido) |

Tabla V.90. Aporte medio anual de tejidos no-lignificados y lignificados

| Parcela | Tejidos no-lignificados (TNL) (g m ⁻² año ⁻¹) | Tejidos lignificados (TL) (g m ⁻² año ⁻¹) | TNL / (TL + TNL) |
|-------------------|--|--|------------------|
| Tabaibal de Rasca | 4,28 | 3,76 | 0,53 |
| Matorral de Rasca | 0,08 | 10,5 | 0,01 |
| Los Aceviños | 116,0 | 74,2 | 0,61 |
| Los Noruegos | 158,5 | 23,2 | 0,87 |
| Palos Pelados | 85,1 | 16,0 | 0,84 |
| Pajaritos | 91,0 | 5,14 | 0,95 |
| Ravelo | 120,2 | 47,3 | 0,72 |
| Los Frailes | 104,5 | 32,6 | 0,76 |
| Pinalito | 126,4 | 92,3 | 0,58 |
| Siete Lomas | 102,1 | 14,4 | 0,88 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezaal arbóreo; *Pajaritos*: brezaal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezaal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

Los suelos del ecosistema costero muestran un carbono orgánico escaso y apenas humificado. Los aportes de hojarasca en este ecosistema son pobres y discontinuos, y la microbiota edáfica, aunque proporcionalmente muy activa, es poco abundante. Por todo ello, la

actividad biológica del suelo se hace también muy baja, los procesos de descomposición se ralentizan (la actividad celulasa es incluso indetectable) y los tejidos vegetales tienden a acumularse poco transformados en los suelos (ver más adelante Sección VII.3 y VII.4). Los suelos que sustentan un matorral costero maduro parecen mostrar unas condiciones más favorables: son más ricos en carbono orgánico y presentan una mayor actividad glucosidasa, debido a los aportes orgánicos procedentes de una hojarasca de menor relación C/N y con una proporción mayor de tejidos no-lignificados (Tabla V.90); y de los exudados de un sistema radicular mucho más desarrollado en la vegetación climácica que en la de sustitución.

Los suelos estudiados en el ecosistema costero son los únicos con presencia apreciable de carbono inorgánico. En Canarias, los carbonatos del suelo provienen principalmente de la alteración de los materiales basálticos (Jahn *et al.*, 1985), y del aporte eólico de arenas calcáreas organógenas marinas, procedentes de bancos emergidos durante distintos periodos de regresión marina entre el Plioceno y la actualidad (Stahr *et al.*, 1989; Margaritz & Jahn, 1992). La acumulación de carbonatos en forma de horizontes cálcicos y petrocálcicos, habituales en los suelos de las zonas áridas de las Islas, se produce normalmente en condiciones de una pluviometría contrastada y fuertemente estacional, diferentes de las actualmente reinantes en el Archipiélago. Por esta razón, puede considerarse la carbonatación primaria como un paleoproceso en los suelos de Canarias (Mora, 2008), y como relativamente estable al carbono inorgánico contenido en dichos horizontes. Los suelos pueden verse, no obstante, sometidos a una carbonatación secundaria por el riego con aguas ricas en sales (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 1998, 2001) y por el aporte al suelo de materiales minerales alcalinizantes que promueven la formación de carbonatos a partir del CO₂ atmosférico (Mora *et al.*, 2005). También se observan redistribuciones debidas al ascenso capilar de bicarbonatos desde los horizontes profundos, por la perturbación de la superficie del suelo, revirtiendo paulatinamente una vez que cesa la perturbación (Mora, 2008). Nuestros resultados muestran movimientos de ascenso y descenso capilares de los carbonatos del suelo, pero de una magnitud limitada y aparentemente con un carácter cíclico estacional, y una mayor estabilidad de los reservorios de carbono inorgánico respecto a los de carbono orgánico durante el periodo de estudio.

Los suelos del ecosistema montano húmedo resultan muy ricos en todas las formas de carbono orgánico, mostrando una gran uniformidad que coincide con la observada por Rodríguez Rodríguez *et al.* (2004a), autores que la atribuyen al efecto homogeneizador del clima y la vegetación del monteverde, en contraste con las características a menudo muy diversas de los horizontes subsuperficiales.

La abundancia de formas lábiles de carbono en los suelos del ecosistema montano húmedo, se relaciona con la humedad constante y con el aporte de hojarasca rica en tejidos no-lignificados durante todo el año (Tabla V.90). En los ecosistemas montanos, el aporte de restos vegetales no-lignificados es relativamente uniforme, abundante y continuo, mientras que el aporte de tejidos lignificados es más irregular, sujeto a incidencias climáticas, y favorecido por la senectud de la fitomasa, que es mayor en las parcelas de *Los Aceviños* y *Pinalito*. Por su parte, la gran riqueza en sustancias húmicas se debe en gran medida a la abundancia de minerales amorfos caracterizados, como hemos visto, por su capacidad para formar complejos estables con la materia orgánica del suelo.

La actividad respiratoria es elevada en todos los suelos del ecosistema montano húmedo, aunque con tasas de campo significativamente menores en los suelos de *Pajaritos*, similares a las mostradas por otros suelos lépticos en el ecosistema montano seco. Por su parte, la actividad descomponedora presenta diferencias pronunciadas en función del grado de madurez del ecosistema. En suelos que sustentan una vegetación desarrollada y umbría, la descomposición parece ser muy rápida y concentrarse, particularmente las primeras etapas de degradación de la celulosa, en los primeros centímetros del suelo e incluso en el mantillo. Esta descomposición acelerada se hace evidente en la reducción de la relación C/N en los primeros centímetros de estos suelos (la evolución en profundidad de la relación C/N se detalla en las Secciones IV.3 y IV.5). En las localidades con vegetación regresiva, la descomposición es más lenta por la naturaleza predominantemente esclerófila de la hojarasca, y se extiende a una mayor profundidad en el suelo; por esta razón, se detecta una mayor actividad descomponedora, y una mayor riqueza en compuestos lábiles de carbono, las tasas de descomposición de su hojarasca son más elevadas (ver Sección V.1.4), y la relación C/N no tiende a reducirse con la profundidad en el espesor de suelo estudiado (ver Sección IV.3).

También en los suelos bajo pinar, la actividad celulasa y la relación C/N de la materia orgánica son elevadas, debido a la naturaleza esclerófila de la hojarasca que reciben. Los suelos del ecosistema montano seco muestran contenidos de carbono variables, con distinto grado de humificación en función de su mayor o menor carácter ándico, pero siempre menores a los de los suelos del monteverde. En contraste, los contenidos de las formas lábiles de carbono son muy homogéneos, a excepción de la riqueza de los suelos de *Siete Lomas* en carbono extraíble con sulfato potásico. Esta riqueza se relaciona con la presencia de nódulos de rizobios simbióticos, cuya abundancia en las leguminosas de esta parcela se refleja en los elevados contenidos de nitrógeno de sus raíces. La actividad de los nódulos produce abundantes compuestos de carbono de bajo peso molecular, los cuales tienden a ser adsorbidos en los coloides ándicos del suelo, de manera que sólo un extractante de mayor fuerza iónica que el agua es capaz de solubilizarlos.

Los suelos de todos los ecosistemas estudiados muestran una marcada tendencia a reducir su contenido de carbono orgánico en el periodo de tiempo considerado (Tabla V.91). En general, la pérdida de carbono no se acompaña de una pérdida equiparable de nitrógeno, lo que señala a la emisión de CO₂ en la respiración del suelo como el mecanismo fundamental de pérdida del carbono, frente a otros procesos menos selectivos en relación al C y al N, como la erosión hídrica.

Los suelos del ecosistema costero experimentan una reducción de todas las formas de carbono, salvo del contenido de carbono lábil extraíble con sulfato potásico, que incluso aumenta.

En el ecosistema montano húmedo, los suelos que sustentan una vegetación más desarrollada reducen significativamente su contenido de carbono, sobre todo en superficie. Esta pérdida se produce a costa, sobre todo, de las formas más solubles de carbono, en tanto que las formas humificadas, secuestradas en complejos organo-minerales, permanecen relativamente estables. En los suelos que sustentan comunidades vegetales regresivas, el contenido de carbono no se reduce significativamente, aunque sí pueden experimentar una variación desigual en

profundidad, disminuyendo entre 0 y 15 cm, y aumentando entre 15 y 30 cm debido a un enriquecimiento en formas de carbono complejadas y biomasa microbiana.

En el ecosistema montano seco, predomina también la tendencia a un descenso en los contenidos de carbono, sobre todo de formas complejadas y en menor proporción de formas solubles, coincidiendo además con un aumento significativo en las emisiones de CO₂. En los suelos de *Pinalito* el nitrógeno desciende de manera más suave que el carbono, mientras que en los de *Siete Lomas* ambos elementos lo hacen a una velocidad similar, lo que sugiere una pérdida significativa de carbono por mecanismos erosivos, no-selectivos.

Tabla V.91. Balance interanual bruto y proporcional de los stocks de carbono y nitrógeno (0-30 cm)

| Parcela | Carbono | | | | Nitrógeno | | | | Relación C/N | | | | | |
|-------------------|--------------------|-------|-------|-------|--------------------|------|-------|-------|--------------|------|-------|-------|---------|--|
| | Año 1 | | Año 2 | | Balance | | % | | Año 1 | | Año 2 | | Balance | |
| | t ha ⁻¹ | | % | | t ha ⁻¹ | | % | | | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 9,34 | 7,41 | -1,93 | -20,7 | 0,80 | 0,79 | -0,00 | -0,21 | 13,2 | 9,2 | -4,0 | -30,5 | | |
| Matorral de Rasca | 7,45 | 4,84 | -2,61 | -35,1 | 0,84 | 0,70 | -0,14 | -17,0 | 8,9 | 6,9 | -2,0 | -22,3 | | |
| Los Aceviños | 189,9 | 148,1 | -41,8 | -22,0 | 12,6 | 10,3 | -2,32 | -18,4 | 15,0 | 14,2 | -0,8 | -5,4 | | |
| Los Noruegos | 205,9 | 151,1 | -54,8 | -26,6 | 11,6 | 8,78 | -2,78 | -24,1 | 17,6 | 17,2 | -0,5 | -2,6 | | |
| Palos Pelados | 194,5 | 196,9 | +2,41 | +1,24 | 10,7 | 11,3 | +0,53 | +4,97 | 18,1 | 17,5 | -0,6 | -3,4 | | |
| Pajaritos | 135,8 | 130,2 | -5,69 | -4,19 | 7,08 | 7,02 | -0,06 | -0,90 | 19,2 | 18,5 | -0,7 | -3,7 | | |
| Ravelo | 171,9 | 145,4 | -26,5 | -15,4 | 10,5 | 9,66 | -0,83 | -7,95 | 16,2 | 15,0 | -1,2 | -7,6 | | |
| Los Frailes | 74,7 | 73,0 | -1,73 | -2,31 | 3,68 | 3,87 | +0,18 | +4,98 | 20,7 | 18,4 | -2,3 | -11,1 | | |
| Pinalito | 48,0 | 28,7 | -19,2 | -40,1 | 1,98 | 1,39 | -0,59 | -29,7 | 23,4 | 20,6 | -2,8 | -11,9 | | |
| Siete Lomas | 126,0 | 91,6 | -34,5 | -27,3 | 11,2 | 8,38 | -2,85 | -25,4 | 11,1 | 11,0 | -0,1 | -1,0 | | |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

Las pérdidas parecen afectar con especial nitidez a los suelos que sustentan ecosistemas próximos a la madurez, a los que tradicionalmente se les atribuye una gran estabilidad de sus stocks de carbono y nitrógeno hasta el extremo de considerárseles prácticamente constantes (Detwiler & Hall, 1988; Trumbore, 1997; Kieft *et al.*, 1998). Por el contrario, la tendencia se hace menos evidente en los suelos de los ecosistemas en proceso de activa regeneración natural, como sucede en las parcelas degradadas en el dominio del monteverde, donde la pérdida se ve enmascarada por la tendencia al secuestro de carbono característica de la sucesión ecológica progresiva.

Las pérdidas de carbono experimentadas por los suelos estudiados resultan de una gran severidad, especialmente si consideramos la corta duración del periodo de estudio. Por supuesto, la variación observada no puede extrapolarse a periodos de tiempo más prolongados, y sólo la continuación de las observaciones en años venideros nos permitirán verificar si se trata o no de la tendencia general a medio y largo plazo.

VI. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

VI.1. INTRODUCCIÓN

En este Capítulo tratamos aspectos físicos de la materia orgánica de los suelos, en concreto el estudio de las formas de carbono y nitrógeno ligadas a fracciones de agregados de distinto tamaño, y a las fracciones granulométricas fina (arcillas y limos) y gruesa (arenas).

Los métodos de fraccionamiento físico se basan en la premisa de que tanto la asociación de las partículas del suelo para formar agregados de distinto tamaño, como el contenido y tipo de compuestos orgánicos ligados a dichas partículas, ejercen un papel fundamental en la dinámica de la materia orgánica, relacionado con la bioaccesibilidad, requisito previo para su descomposición (von Lützow *et al.*, 2007).

El modo y grado de agregación de las partículas del suelo a través de distintos agentes cementantes determina la estabilidad y permanencia de la materia orgánica del suelo, particularmente su grado de protección física por el encapsulamiento en el interior de los agregados, que limita el acceso a los microorganismos y a los complejos enzimáticos responsables de la descomposición. Entre los factores que influyen en la agregación del suelo se encuentran la fauna y los microorganismos edáficos, las raíces, los agentes cementantes inorgánicos (óxidos de hierro, carbonato cálcico, etc.) y procesos como la humectación y el secado del suelo (Six *et al.*, 2004).

Por otro lado, el fraccionamiento de la materia orgánica en función del tamaño de las partículas que componen el suelo (arenas, limos y arcillas) suministra información sobre la estabilidad y complejidad de los compuestos orgánicos ligados a estas partículas (Evans *et al.*, 2001). Así, la fracción arcilla se caracteriza por presentar una elevada superficie específica y numerosos puntos reactivos, que permiten la adsorción de la materia orgánica por procesos de intercambio de ligandos y puentes de cationes polivalentes, mientras que la fracción arena, dominada por partículas de cuarzo, presenta una superficie específica mucho menor así como puntos más débiles de unión a la materia orgánica del suelo (Christensen, 1992; Sposito *et al.*, 1999; von Lützow *et al.*, 2007). Por esta razón, generalmente se considera a la materia orgánica ligada a la fracción arena, formada fundamentalmente por fibras vegetales (Gregorich & Ellert, 1993; Schulten *et al.*, 1993), mucho más lábil y, por tanto, con un menor tiempo de residencia, que la unida a las fracciones de limos y arcillas (Tiessen & Stewart, 1983; Christensen, 1987, 1992; Nicolardot *et al.*, 1992; Evans *et al.*, 2001; von Lützow *et al.*, 2007). Las texturas finas ejercen un papel importante en la protección físico-química de la materia orgánica del suelo, al favorecer la microagregación del suelo y la estabilidad de la materia orgánica, reduciendo su tasa de descomposición (Theng, 1979; Tistall & Oades, 1982; Hassink *et al.*, 1993; Hassink, 1994; von Lützow *et al.*, 2007).

VI.2. CARBONO LIGADO A LAS DISTINTAS FRACCIONES ESTRUCTURALES: MEGA, MACRO Y MICROAGREGADOS

En esta Sección analizamos la distribución del carbono total y complejado y nitrógeno contenidos en las principales fracciones de la estructura, así como su aportación relativa al total del suelo, en los ecosistemas costero, montano húmedo y montano seco.

Las diferencias entre los contenidos de carbono de cada suelo, aunque consideradas en el análisis, no se discuten aquí, al tratarse más extensamente en los capítulos anteriores. Sólo se comentan estas diferencias cuando existe una interacción estadísticamente significativa entre los factores que representan a la fracción estructural y la influencia del suelo particular, que indicaría que el patrón de distribución del carbono en las fracciones de agregados difiere significativamente entre los distintos suelos.

VI.2.1. Distribución de los agregados

La distribución de agregados refleja el grado de desarrollo y la consistencia de la estructura del suelo: las fracciones gruesas muestran un mayor predominio sobre las finas en los suelos con una estructura mejor desarrollada, que son en general los de mejor calidad y menos degradados. La Figura VI.1 representa la distribución del tamaño de los agregados en los horizontes superficiales de los suelos de las zonas costera, montana húmeda y montana seca. En este trabajo consideramos tres fracciones de tamaño principales: <0,5 mm (**microagregados**), 0,5-2 mm (**macroagregados**) y >2 mm (**megaagregados**) (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2004a).

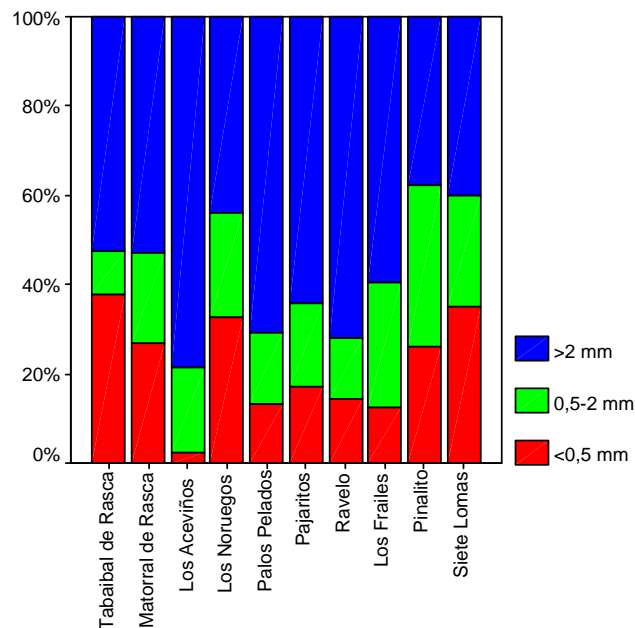


Figura VI.1. Distribución del tamaño de agregados en los suelos de la zona de estudio

Los suelos de la zona costera (*Tabaibal* y *Matorral de Rasca*) presentan una estructura poco desarrollada, masiva con tendencia a fragmentarse en bloques de gran tamaño, algo más suelta en *Tabaibal de Rasca*. En los suelos del monte verde se observa un mayor predominio de los megaagregados respecto a otros ecosistemas. Los mayores contrastes se observan entre las estructuras de los suelos de *Los Aceviños*, grumosa de tendencia poliédrica, muy densa y consistente, con muy escasa presencia de las fracciones de agregados de menor tamaño; y de *Los Noruegos*, migajosa, extremadamente esponjosa, con una cohesión muy débil en los agregados gruesos, que tienden a resolverse en agregados más finos. En el ecosistema montano

seco, los megaagregados son mucho más abundantes en el suelo de *Los Frailes* que en los de *Pinalito* y *Siete Lomas*.

VI.2.2. Carbono orgánico oxidable y nitrógeno totales

i) ZONA COSTERA

En los suelos del ecosistema costero, los contenidos de carbono y nitrógeno son muy bajos en todas las fracciones, con sus menores valores en los macroagregados (entre 0,5-2 mm) (Tablas VI.1 y VI.2; Figuras VI.2 y VI.3). La aportación de cada fracción al suelo total refleja sobre todo la distribución de agregados: máxima de los megaagregados (>2 mm) dominantes, intermedia de los microagregados, y mínima de los poco abundantes agregados de tamaño medio. No se detectaron diferencias significativas en la relación C/N de las distintas fracciones de agregados (Tablas VI.1 y VI.2; Figura VI.4).

| | Contenido relativo | | Aportación al total | | Relación C/N |
|-----------------------|--------------------|-----------|---------------------|-----------|--------------|
| | Carbono | Nitrógeno | Carbono | Nitrógeno | |
| Fracción de agregados | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 6,40 | 8,77 | 144,3 | 146,9 | 0,81 |
| Significación | 0,022 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,480 |
| Parcela | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 5,22 | 0,94 | 2,66 | 0,000 | 8,87 |
| Significación | 0,084 | 0,388 | 0,178 | 0,992 | 0,041 |
| Fracción x Parcela | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 1,84 | 1,33 | 16,8 | 17,4 | 0,62 |
| Significación | 0,220 | 0,318 | 0,001 | 0,001 | 0,564 |

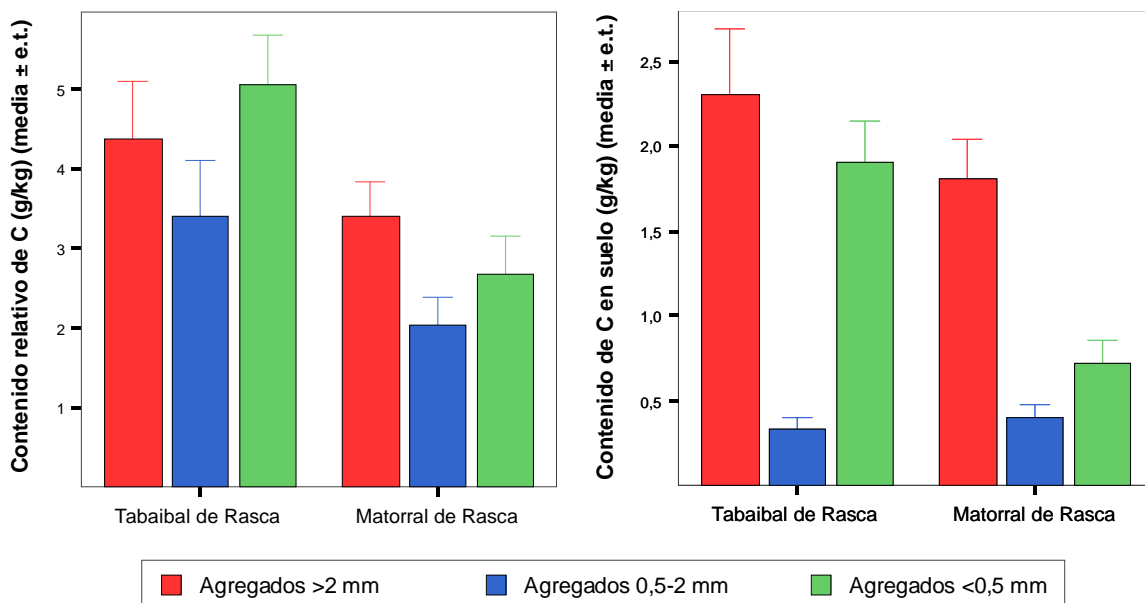


Figura VI.2. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona costera

| | > 2 mm | 0,5-2 mm | < 0,5 mm | |
|---|-------------|-------------|-------------|---|
| Tabla VI.2. Contenidos de carbono y nitrógeno (media ± e.t.) de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona costera | | | | |
| Contenido relativo de carbono (g kg⁻¹) | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 4,37 ± 0,74 | 3,41 ± 0,70 | 5,05 ± 0,64 | A |
| Matorral de Rasca | 3,40 ± 0,44 | 2,03 ± 0,35 | 2,69 ± 0,47 | A |
| | ab | a | b | |
| Contenido relativo de nitrógeno (g kg⁻¹) | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 0,49 ± 0,05 | 0,38 ± 0,07 | 0,58 ± 0,04 | A |
| Matorral de Rasca | 0,48 ± 0,07 | 0,33 ± 0,07 | 0,45 ± 0,03 | A |
| | a | b | a | |
| Aportación al total de carbono (g kg⁻¹) | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 2,30 ± 0,39 | 0,33 ± 0,07 | 1,91 ± 0,24 | A |
| Matorral de Rasca | 1,80 ± 0,23 | 0,40 ± 0,07 | 0,72 ± 0,13 | A |
| | a | c | b | |
| Aportación al total de nitrógeno (g kg⁻¹) | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 0,26 ± 0,03 | 0,04 ± 0,01 | 0,22 ± 0,01 | A |
| Matorral de Rasca | 0,26 ± 0,04 | 0,07 ± 0,01 | 0,12 ± 0,01 | A |
| | a | c | b | |
| Relación C/N | | | | |
| Tabaibal de Rasca | 8,89 ± 0,77 | 9,07 ± 1,06 | 8,69 ± 0,59 | A |
| Matorral de Rasca | 7,11 ± 0,23 | 6,18 ± 0,75 | 5,94 ± 0,74 | B |
| | a | a | a | |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, p<0,05) | | | | |

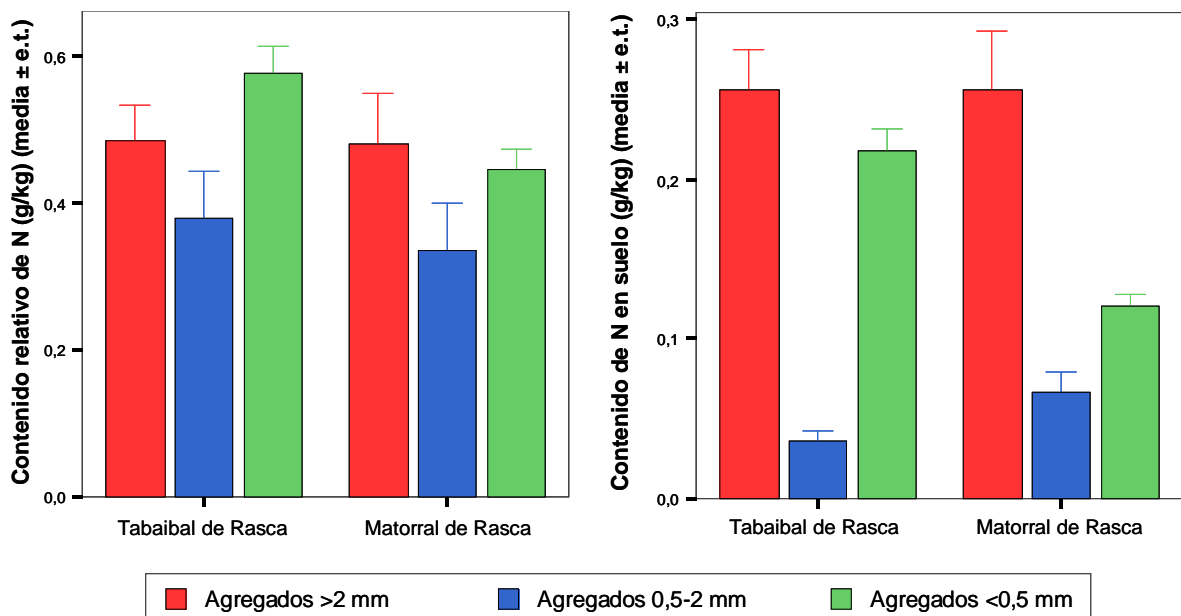


Figura VI.3. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona costera

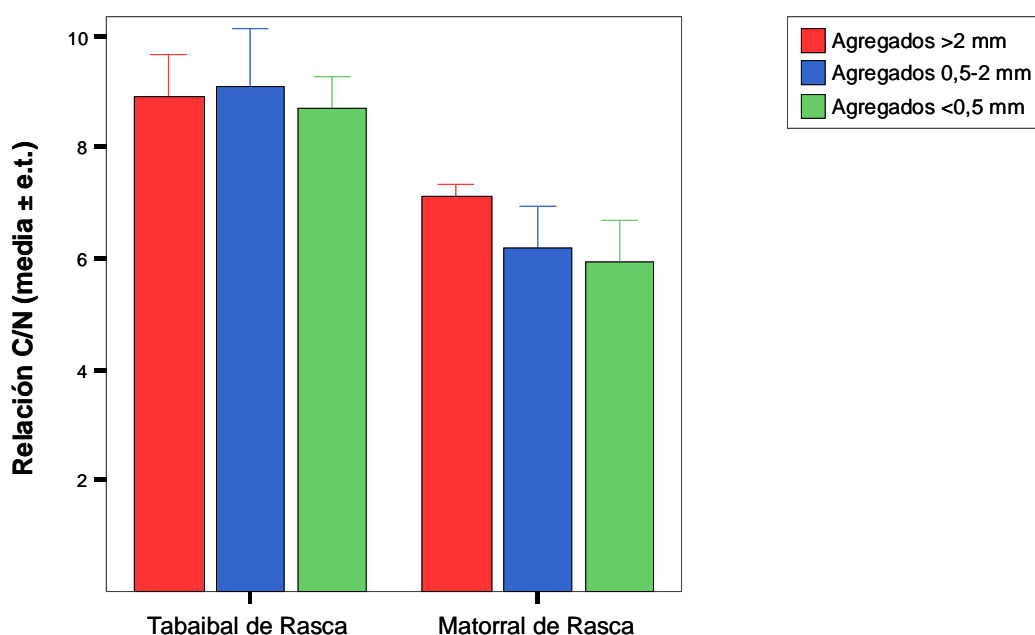


Figura VI.4. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona costera

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Los suelos del monteverde presentan contenidos muy elevados de carbono y nitrógeno en todas las fracciones de agregados, con escasas diferencias salvo en *Ravelo*, donde la fracción de mayor tamaño (> 2 mm) tiende a ser más rica en carbono (Tablas VI.3 y VI.4; Figuras VI.5 y VI.6). Los megaagregados (> 2mm) son la fracción que más contribuye a los totales de carbono y nitrógeno; la aportación de los macroagregados (0,5-2 mm) es en general mayor que la de los microagregados (<0,5 mm), salvo en *Los Noruegos*, donde predominan estos últimos, y en *Ravelo*, donde son muy similares. No se observaron diferencias en la relación C/N de las fracciones de agregados consideradas (Tablas VI.3 y VI.4; Figura VI.7).

| | Contenido relativo | | Aportación al total | | Relación C/N |
|-----------------------|--------------------|-----------|---------------------|-----------|--------------|
| | Carbono | Nitrógeno | Carbono | Nitrógeno | |
| Fracción de agregados | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 0,20 | 0,182 | 1334,6 | 671,4 | 0,34 |
| Significación | 0,818 | 0,835 | 0,000 | 0,000 | 0,713 |
| Parcela | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 0,89 | 1,96 | 7,14 | 1,60 | 3,40 |
| Significación | 0,507 | 0,177 | 0,006 | 0,249 | 0,053 |
| Fracción x Parcela | | | | | |
| $F_{gl=8}$ | 2,20 | 1,36 | 134,9 | 38,5 | 1,56 |
| Significación | 0,073 | 0,273 | 0,000 | 0,000 | 0,200 |

| Tabla VI.4. Contenidos de carbono y nitrógeno (media \pm e.t.) de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda | | | | |
|---|------------------|------------------|------------------|----|
| | > 2 mm | 0,5-2 mm | < 0,5 mm | |
| Contenido relativo de carbono (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 183,2 \pm 13,8 | 202,3 \pm 25,4 | 218,8 \pm 26,6 | A |
| Los Noruegos | 210,1 \pm 38,8 | 214,5 \pm 63,6 | 203,2 \pm 38,9 | A |
| Palos Pelados | 235,3 \pm 11,3 | 247,9 \pm 8,40 | 257,7 \pm 15,0 | A |
| Pajaritos | 191,8 \pm 26,7 | 218,1 \pm 26,4 | 200,3 \pm 13,3 | A |
| Ravelo | 208,9 \pm 14,7 | 165,3 \pm 10,7 | 170,8 \pm 6,65 | A |
| | a | a | a | |
| Contenido relativo de nitrógeno (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 10,7 \pm 1,58 | 11,6 \pm 1,38 | 12,5 \pm 0,28 | AB |
| Los Noruegos | 9,62 \pm 1,59 | 9,49 \pm 2,65 | 9,99 \pm 1,33 | AB |
| Palos Pelados | 13,5 \pm 0,90 | 13,5 \pm 0,23 | 12,9 \pm 0,75 | A |
| Pajaritos | 9,94 \pm 1,59 | 10,9 \pm 1,65 | 10,3 \pm 1,23 | AB |
| Ravelo | 9,87 \pm 0,50 | 8,24 \pm 0,63 | 9,07 \pm 0,64 | B |
| | a | a | a | |
| Aportación al total de carbono (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 144,2 \pm 10,8 | 38,4 \pm 4,83 | 4,98 \pm 0,61 | A |
| Los Noruegos | 92,1 \pm 17,0 | 50,3 \pm 14,9 | 66,5 \pm 12,7 | C |
| Palos Pelados | 166,5 \pm 8,03 | 39,7 \pm 1,34 | 34,0 \pm 1,98 | BC |
| Pajaritos | 123,4 \pm 17,2 | 40,3 \pm 4,88 | 34,4 \pm 2,29 | BC |
| Ravelo | 150,4 \pm 10,6 | 22,5 \pm 1,47 | 24,5 \pm 0,95 | B |
| | a | b | c | |
| Aportación al total de nitrógeno (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 8,46 \pm 1,24 | 2,21 \pm 0,26 | 0,28 \pm 0,01 | A |
| Los Noruegos | 4,22 \pm 0,70 | 2,23 \pm 0,62 | 3,27 \pm 0,43 | A |
| Palos Pelados | 9,55 \pm 0,64 | 2,17 \pm 0,04 | 1,70 \pm 0,10 | A |
| Pajaritos | 6,40 \pm 1,02 | 2,02 \pm 0,30 | 1,77 \pm 0,21 | A |
| Ravelo | 7,10 \pm 0,36 | 1,12 \pm 0,09 | 1,30 \pm 0,09 | A |
| | a | b | c | |
| Relación C/N | | | | |
| Los Aceviños | 17,5 \pm 1,40 | 17,4 \pm 0,72 | 17,5 \pm 1,74 | A |
| Los Noruegos | 21,7 \pm 0,73 | 22,5 \pm 1,63 | 20,1 \pm 1,11 | B |
| Palos Pelados | 17,5 \pm 0,58 | 18,3 \pm 0,87 | 20,1 \pm 1,16 | A |
| Pajaritos | 19,5 \pm 0,89 | 20,1 \pm 0,55 | 19,7 \pm 0,97 | AB |
| Ravelo | 21,2 \pm 1,04 | 20,1 \pm 0,99 | 18,9 \pm 0,71 | B |
| | a | a | a | |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$) | | | | |

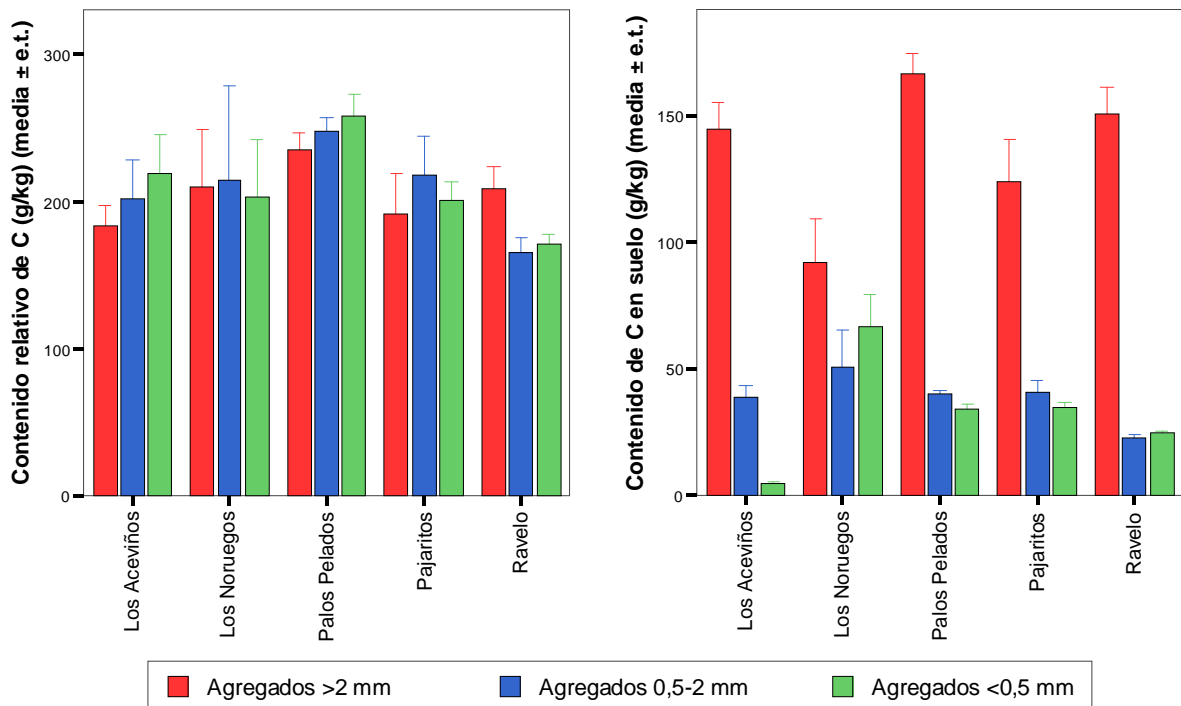


Figura VI.5. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

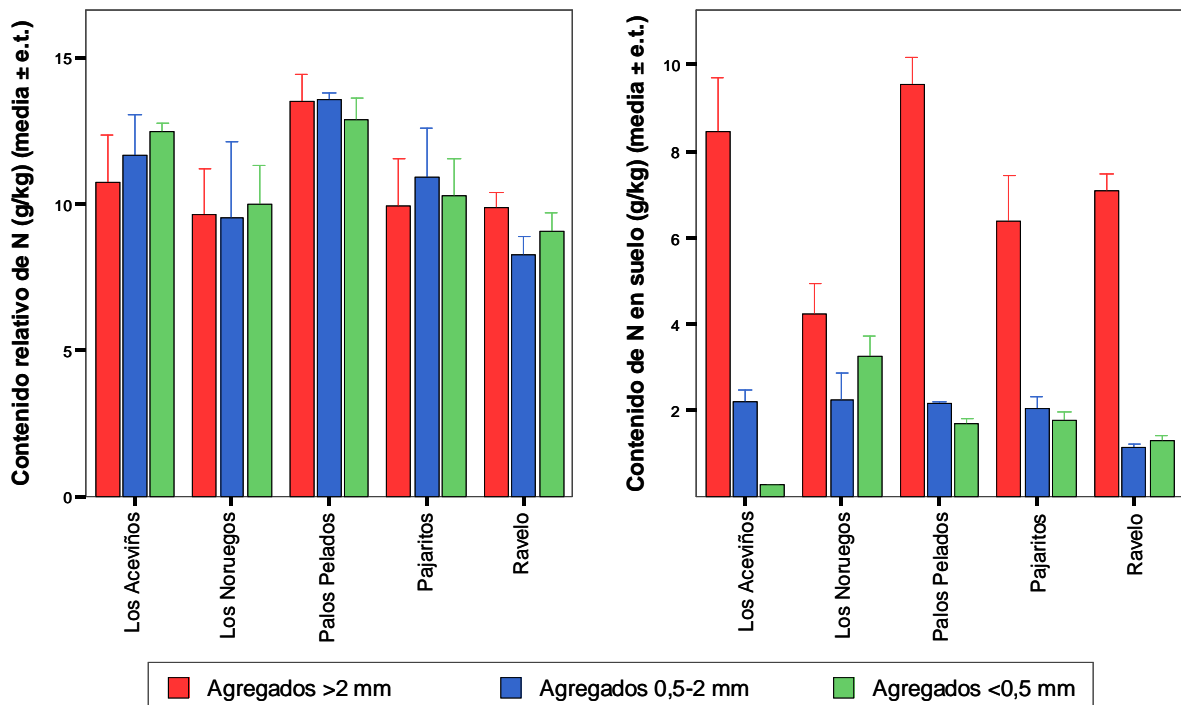


Figura VI.6. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

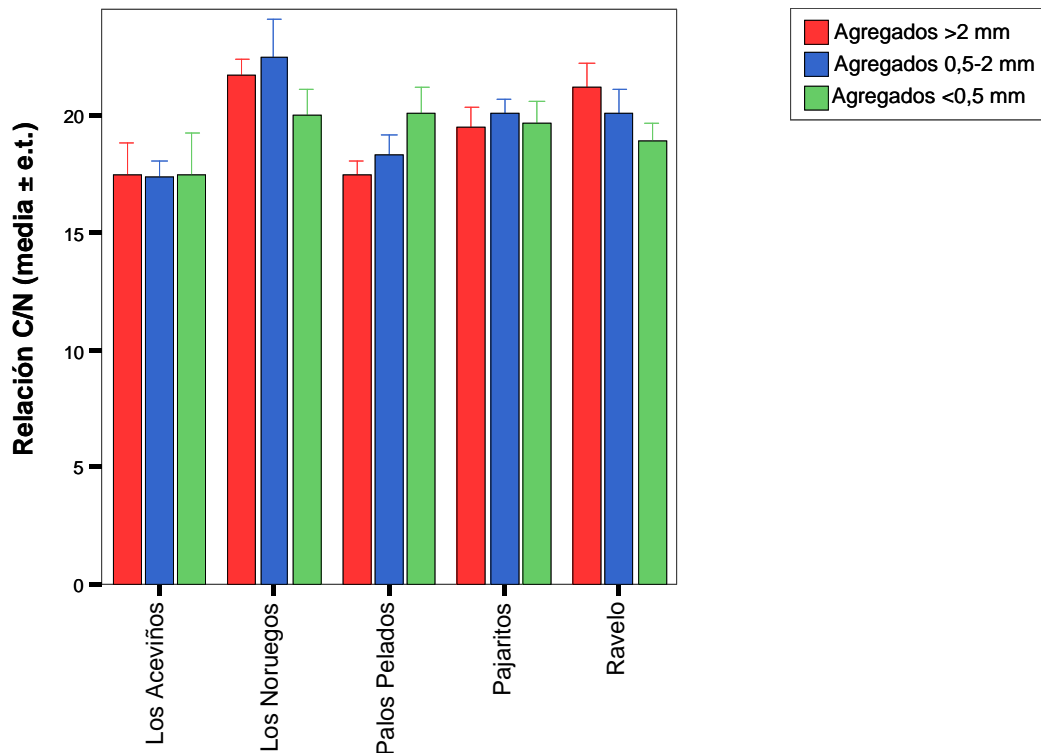


Figura VI.7. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

iii) ZONA MONTANA SECA

En los suelos del ecosistema montano seco, los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones de agregados son elevados y relativamente homogéneos en *Siete Lomas*; e inferiores y heterogéneos en *Los Frailes* y *Pinalito*, con una menor abundancia de la fracción intermedia (0,5-2 mm) (Tablas VI.5 y VI.6; Figuras VI.8 y VI.9). Al igual que en los ecosistemas anteriores, la aportación de cada fracción al total de carbono y nitrógeno, refleja la distribución de agregados de cada suelo: la fracción cuantitativamente más importante son los megaagregados (>2 mm), seguidos por los macroagregados (0,5-2 mm) en *Los Frailes* y *Pinalito*, y por los microagregados (<0,5 mm) en *Siete Lomas*. Tampoco en este caso se observaron diferencias significativas en la relación C/N de las distintas fracciones de agregados (Tablas VI.5 y VI.6; Figura VI.10).

| | Contenido relativo | | Aportación al total | | Relación C/N |
|-----------------------|--------------------|-----------|---------------------|-----------|--------------|
| | Carbono | Nitrógeno | Carbono | Nitrógeno | |
| Fracción de agregados | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 2,73 | 3,18 | 1,24 | 84,5 | 0,53 |
| Significación | 0,105 | 0,078 | 0,000 | 0,000 | 0,602 |
| Parcela | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 6,34 | 8,42 | 6,96 | 9,21 | 21,7 |
| Significación | 0,033 | 0,018 | 0,027 | 0,015 | 0,002 |
| Fracción x Parcela | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 2,96 | 1,90 | 32,0 | 24,5 | 0,25 |
| Significación | 0,065 | 0,176 | 0,000 | 0,000 | 0,904 |

| | > 2 mm | 0,5-2 mm | < 0,5 mm | |
|---|------------------|------------------|------------------|---|
| Tabla VI.6. Contenidos de carbono y nitrógeno (media \pm e.t.) de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca | | | | |
| Contenido relativo de carbono (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 61,1 \pm 14,6 | 49,4 \pm 11,4 | 65,1 \pm 14,3 | A |
| Pinalito | 46,6 \pm 8,43 | 36,4 \pm 5,19 | 38,6 \pm 7,25 | A |
| Siete Lomas | 140,3 \pm 40,5 | 147,2 \pm 37,4 | 149,5 \pm 41,8 | B |
| | a | a | a | |
| Contenido relativo de nitrógeno (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 3,29 \pm 1,04 | 2,42 \pm 0,64 | 3,13 \pm 0,78 | A |
| Pinalito | 2,56 \pm 0,54 | 2,09 \pm 0,51 | 2,06 \pm 0,29 | A |
| Siete Lomas | 12,8 \pm 4,05 | 13,6 \pm 4,85 | 12,1 \pm 3,83 | B |
| | a | a | a | |
| Aportación al total de carbono (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 36,4 \pm 8,71 | 13,8 \pm 3,18 | 8,10 \pm 1,78 | A |
| Pinalito | 17,6 \pm 3,18 | 13,2 \pm 1,89 | 10,0 \pm 1,88 | A |
| Siete Lomas | 56,3 \pm 16,3 | 36,4 \pm 9,23 | 52,5 \pm 14,7 | B |
| | a | b | c | |
| Aportación al total de nitrógeno (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 1,96 \pm 0,62 | 0,68 \pm 0,18 | 0,39 \pm 0,10 | A |
| Pinalito | 0,97 \pm 0,20 | 0,76 \pm 0,19 | 0,53 \pm 0,08 | A |
| Siete Lomas | 5,15 \pm 1,62 | 3,36 \pm 1,20 | 4,25 \pm 1,35 | B |
| | a | b | c | |
| Relación C/N | | | | |
| Los Frailes | 19,7 \pm 1,83 | 21,0 \pm 1,19 | 21,3 \pm 1,00 | A |
| Pinalito | 18,7 \pm 1,12 | 18,4 \pm 2,05 | 18,4 \pm 1,10 | A |
| Siete Lomas | 11,1 \pm 0,39 | 12,2 \pm 2,34 | 12,7 \pm 0,59 | B |
| | a | a | a | |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$) | | | | |

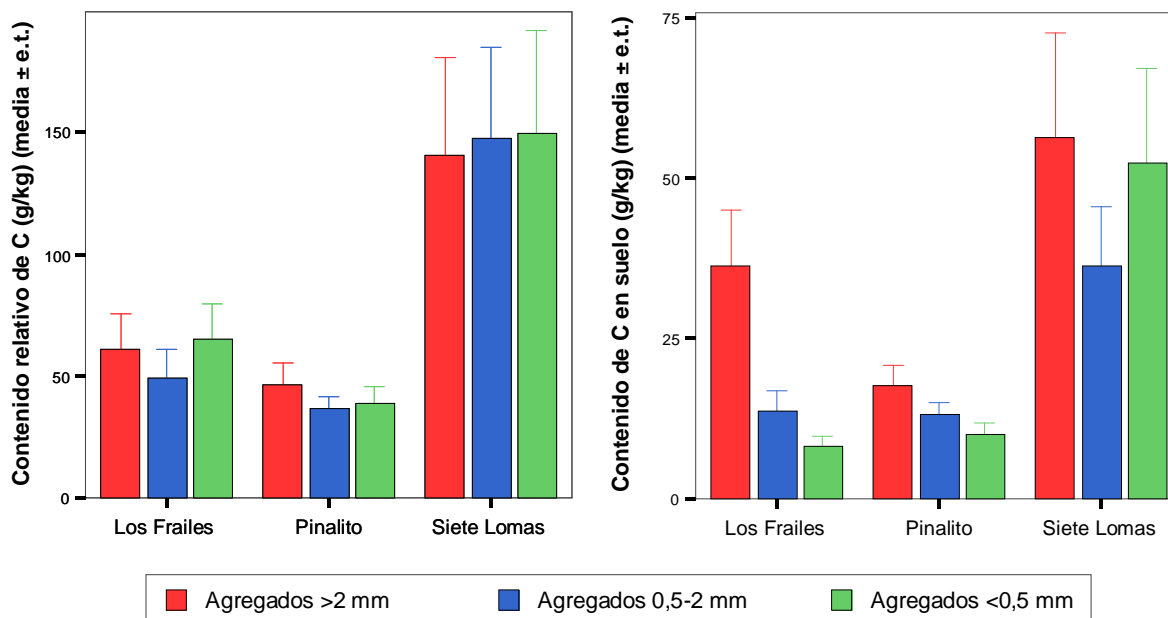


Figura VI.8. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

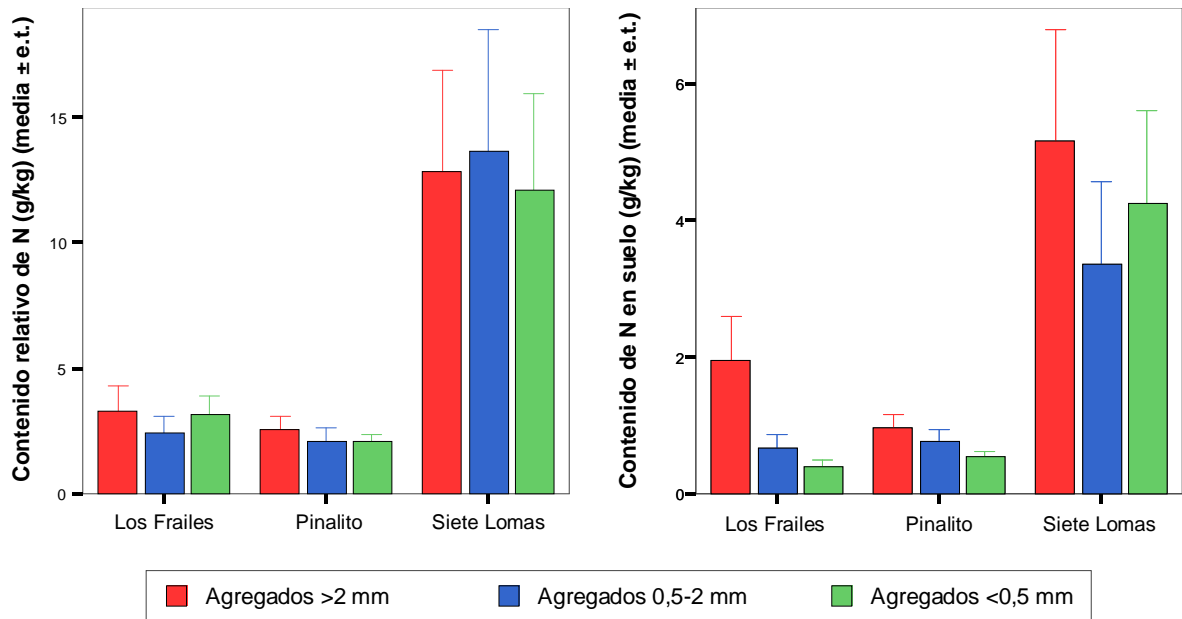


Figura VI.9. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

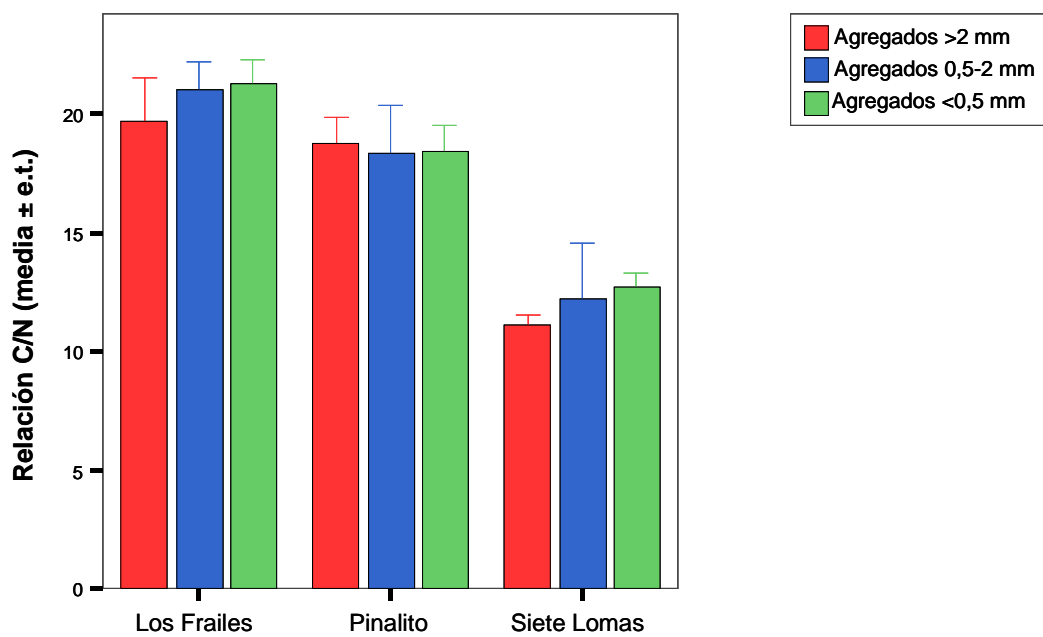


Figura VI.10. Relación C/N de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

VI.2.3. Carbono en formas complejadas: carbono y metales pirofosfato y grado de complejación

i) ZONA COSTERA

Como se indicó en la Sección V.4.2, la determinación del contenido de carbono extraíble con pirofosfato sódico 0,1M en los suelos de la zona costera, dio como resultado valores de cero o indistintos de cero. En base a estos criterios, consideramos el carbono complejado de los suelos del ecosistema costero como cuantitativamente despreciable, por lo que no se analizó su distribución en las distintas fracciones de agregados.

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

En los suelos del monteverde, los mayores contenidos de carbono, hierro y aluminio complejados tienden a darse en la fracción de agregados de menor tamaño (<0,5 mm). Son excepciones los suelos de *Los Aceviños*, donde los agregados más pequeños presentan los contenidos más bajos de carbono; y de *Ravelo*, donde los agregados mayores son los más ricos en carbono complejado, y los microagregados los más ricos en hierro y aluminio complejados (Tablas VI.7 y VI.8; Figuras VI.11-VI.13).

En cuanto a la contribución de cada fracción al total del suelo, la mayor aportación de carbono, hierro y aluminio complejados corresponde a la fracción de megaagregados (>2 mm), con diferencias significativas entre los suelos en cuanto a la importancia relativa de los microagregados (<0,5 mm) y macroagregados (0,5-2 mm): semejante en *Palos Pelados*, *Pajaritos* y *Ravelo*, mayor para los microagregados en *Los Noruegos*, y muy superior para los macroagregados en *Los Aceviños*.

No se encontraron diferencias significativas entre las distintas fracciones de agregados respecto a la proporción de $(Fe_p+Al_p)/C_p$, indicadora del grado de complejación del carbono del suelo (Tablas VI.7 y VI.8; Figura VI.14), si bien tiende a ser mayor en la fracción de microagregados (<0,5 mm) en los suelos de *Los Noruegos*, *Palos Pelados* y *Ravelo*.

| Tabla VI.7. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda | | | | | | | |
|---|--------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|-------------------|
| | Contenido relativo | | | Aportación al total | | | $(Fe_p+Al_p)/C_p$ |
| | C_p | Fe_p | Al_p | C_p | Fe_p | Al_p | |
| Fracción de agregados | | | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 4,87 | 4,23 | 8,28 | 606,9 | 314,9 | 177,5 | 3,01 |
| Significación | 0,019 | 0,029 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,072 |
| Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 12,3 | 7,60 | 7,04 | 7,73 | 5,68 | 7,62 | 1,17 |
| Significación | 0,001 | 0,004 | 0,006 | 0,004 | 0,012 | 0,004 | 0,379 |
| Fracción x Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=8}$ | 2,29 | 1,99 | 1,86 | 30,5 | 26,3 | 18,0 | 1,64 |
| Significación | 0,064 | 0,101 | 0,123 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,177 |

Tabla VI.8. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono (media \pm e.t.) de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana húmeda

| | > 2 mm | 0,5-2 mm | < 0,5 mm | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|----|
| Contenido relativo de carbono complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 58,6 \pm 4,35 | 57,2 \pm 3,23 | 53,3 \pm 3,25 | A |
| Los Noruegos | 63,1 \pm 2,79 | 60,6 \pm 2,18 | 67,7 \pm 2,25 | AB |
| Palos Pelados | 80,6 \pm 2,94 | 80,1 \pm 2,27 | 84,6 \pm 2,63 | C |
| Pajaritos | 54,8 \pm 6,74 | 55,0 \pm 3,26 | 64,1 \pm 2,62 | A |
| Ravelo | 76,2 \pm 5,39 | 66,2 \pm 3,03 | 73,1 \pm 3,61 | B |
| | ab | a | b | |
| Contenido relativo de hierro complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 7,31 \pm 0,98 | 6,16 \pm 1,16 | 5,76 \pm 1,36 | AB |
| Los Noruegos | 5,13 \pm 1,30 | 4,61 \pm 1,48 | 5,81 \pm 0,92 | BC |
| Palos Pelados | 7,50 \pm 0,57 | 8,11 \pm 0,28 | 9,98 \pm 0,99 | A |
| Pajaritos | 3,65 \pm 0,47 | 2,69 \pm 0,41 | 3,74 \pm 0,58 | C |
| Ravelo | 3,72 \pm 0,43 | 3,23 \pm 0,37 | 4,29 \pm 0,39 | C |
| | ab | a | b | |
| Contenido relativo de aluminio (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 8,31 \pm 1,87 | 7,94 \pm 2,16 | 7,14 \pm 2,53 | B |
| Los Noruegos | 7,44 \pm 1,90 | 8,71 \pm 2,10 | 10,6 \pm 3,25 | B |
| Palos Pelados | 10,9 \pm 0,85 | 10,8 \pm 1,38 | 13,9 \pm 1,62 | B |
| Pajaritos | 6,43 \pm 0,58 | 5,06 \pm 1,45 | 7,21 \pm 1,03 | A |
| Ravelo | 16,7 \pm 1,23 | 14,8 \pm 0,54 | 19,5 \pm 1,71 | C |
| | a | a | b | |
| Aportación al total de carbono complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 46,1 \pm 3,43 | 10,9 \pm 0,61 | 1,21 \pm 0,07 | A |
| Los Noruegos | 27,7 \pm 1,22 | 14,2 \pm 0,51 | 22,1 \pm 0,73 | AB |
| Palos Pelados | 57,1 \pm 2,08 | 12,8 \pm 0,36 | 11,2 \pm 0,35 | C |
| Pajaritos | 35,3 \pm 4,34 | 10,2 \pm 0,60 | 11,0 \pm 0,45 | A |
| Ravelo | 54,9 \pm 3,88 | 9,03 \pm 0,41 | 10,5 \pm 0,52 | BC |
| | a | b | b | |
| Aportación al total de hierro complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 5,75 \pm 0,77 | 1,17 \pm 0,22 | 0,13 \pm 0,03 | AB |
| Los Noruegos | 2,25 \pm 0,57 | 1,08 \pm 0,35 | 1,90 \pm 0,30 | AB |
| Palos Pelados | 5,31 \pm 0,40 | 1,30 \pm 0,04 | 1,32 \pm 0,13 | A |
| Pajaritos | 2,35 \pm 0,30 | 0,50 \pm 0,08 | 0,64 \pm 0,10 | B |
| Ravelo | 2,68 \pm 0,31 | 0,44 \pm 0,05 | 0,62 \pm 0,06 | B |
| | a | b | b | |
| Aportación al total de aluminio complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 6,54 \pm 1,47 | 1,51 \pm 0,41 | 0,16 \pm 0,06 | AB |
| Los Noruegos | 3,26 \pm 0,83 | 2,04 \pm 0,49 | 3,48 \pm 1,06 | AB |
| Palos Pelados | 7,70 \pm 0,60 | 1,73 \pm 0,22 | 1,84 \pm 0,21 | B |
| Pajaritos | 4,14 \pm 0,38 | 0,93 \pm 0,27 | 1,24 \pm 0,18 | A |
| Ravelo | 12,0 \pm 0,88 | 2,02 \pm 0,07 | 2,80 \pm 0,25 | C |
| | a | b | b | |
| $(\text{Fe}_p + \text{Al}_p)/C_p$ | | | | |
| Los Aceviños | 0,27 \pm 0,05 | 0,25 \pm 0,07 | 0,24 \pm 0,06 | A |
| Los Noruegos | 0,20 \pm 0,06 | 0,22 \pm 0,06 | 0,24 \pm 0,06 | A |
| Palos Pelados | 0,23 \pm 0,02 | 0,24 \pm 0,02 | 0,28 \pm 0,03 | A |
| Pajaritos | 0,19 \pm 0,03 | 0,15 \pm 0,04 | 0,17 \pm 0,03 | A |
| Ravelo | 0,27 \pm 0,03 | 0,27 \pm 0,01 | 0,33 \pm 0,03 | A |
| | ab | a | b | |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$) | | | | |

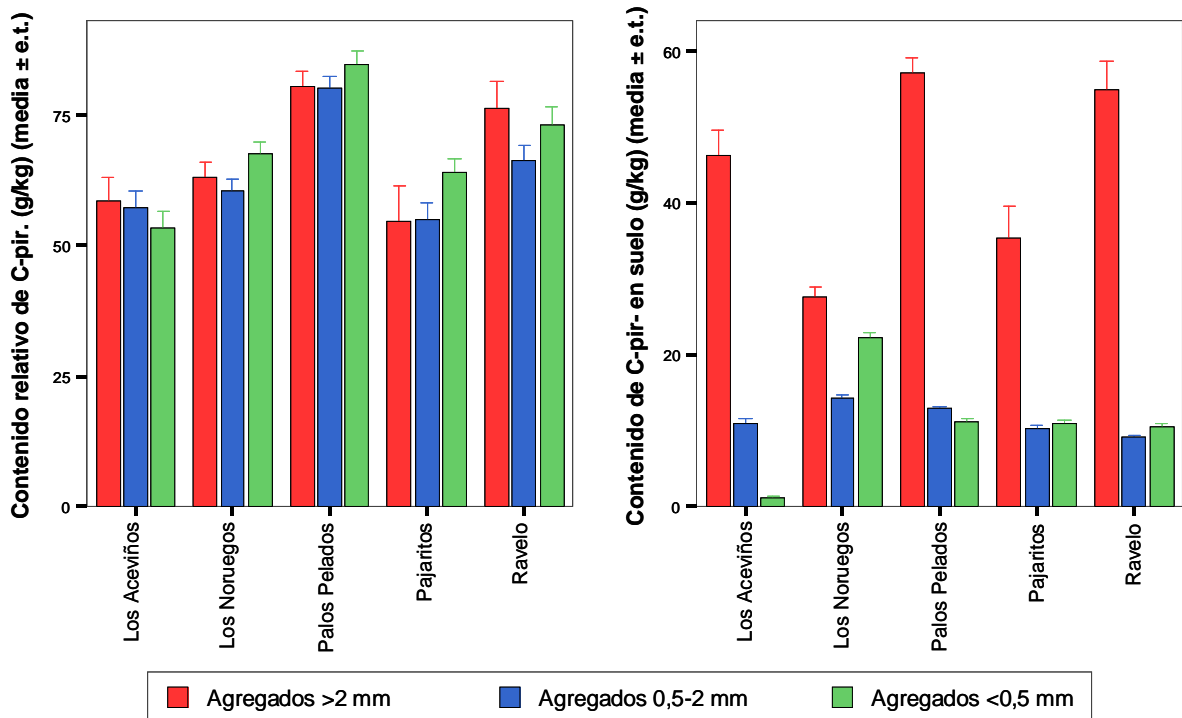


Figura VI.11. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

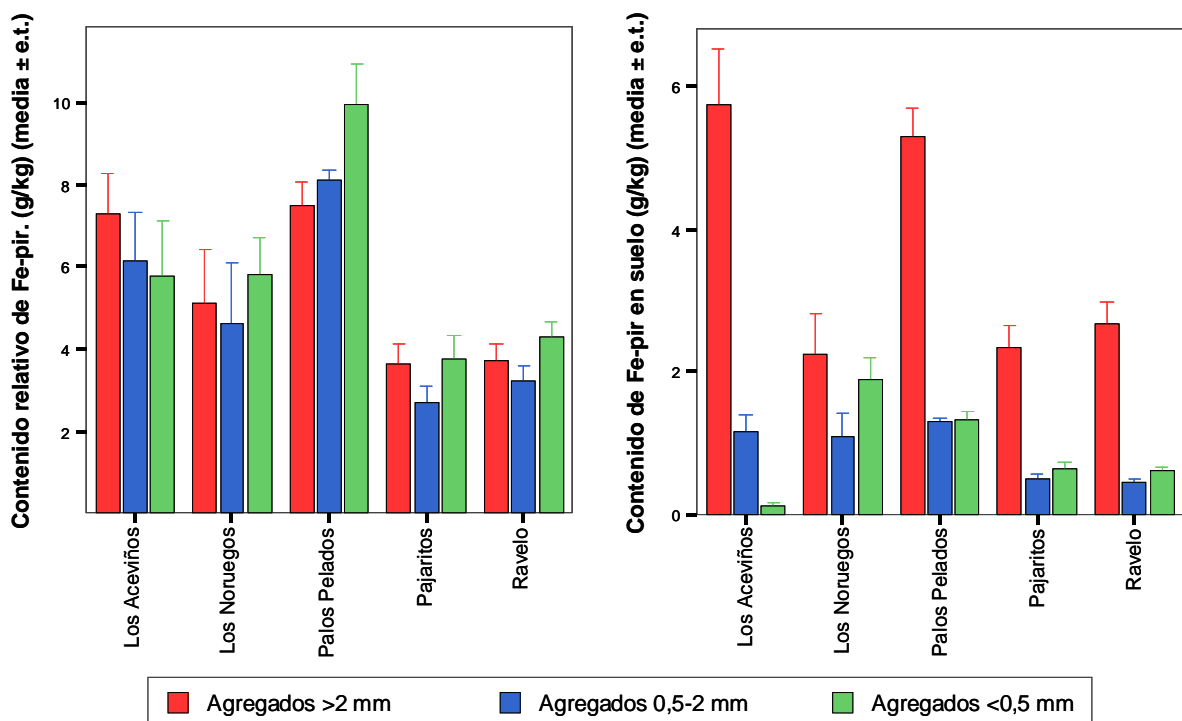


Figura VI.12. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

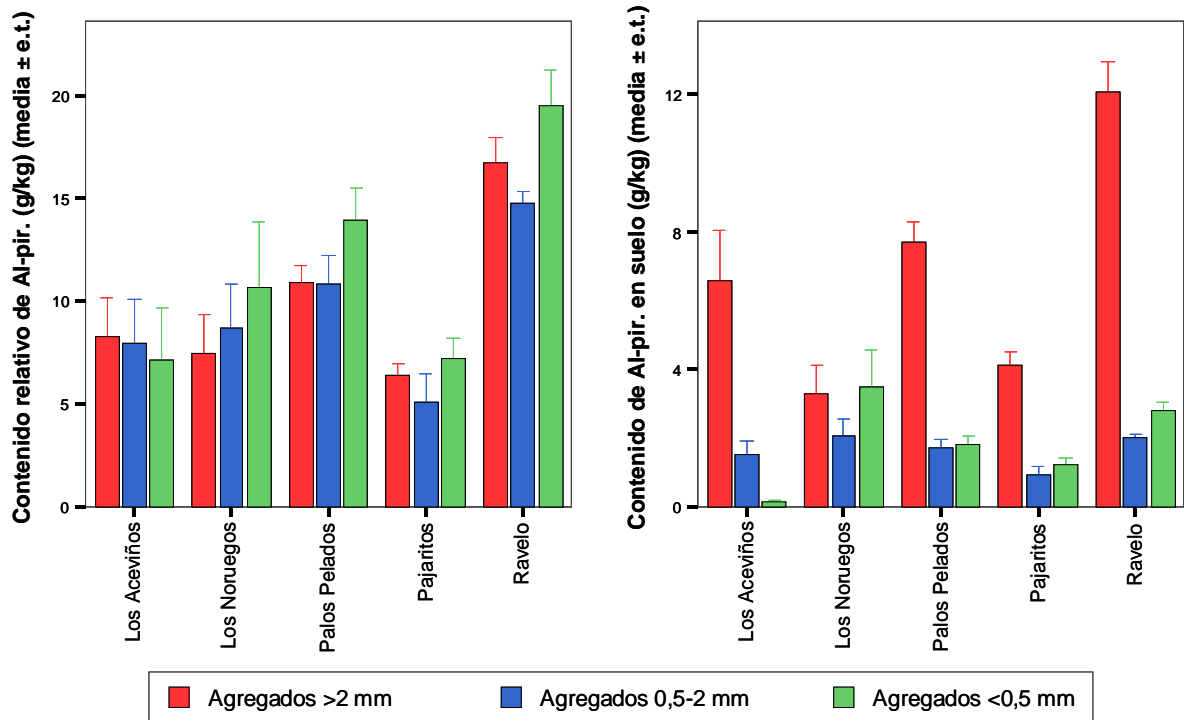


Figura VI.13. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

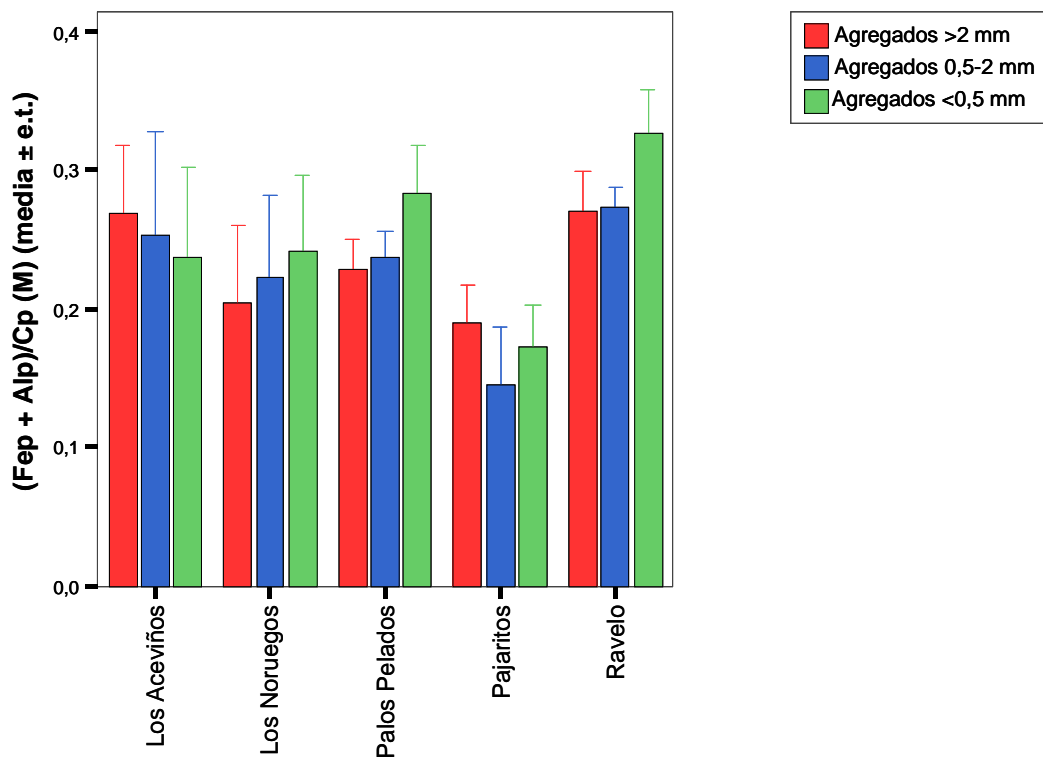


Figura VI.14. Grado de complejación del carbono $(\text{Fe}_p + \text{Al}_p)/\text{C}_p$ de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana húmeda

iii) ZONA MONTANA SECA

El contenido de carbono, hierro y aluminio complejados y la proporción $(Fe_p+Al_p)/C_p$ de los suelos del ecosistema montano seco no muestran diferencias estadísticamente significativas en función del tamaño de agregado, si bien los metales complejados tienden a ser más escasos en los agregados de tamaño medio (0,5-2 mm) (Tablas VI.9 y VI.10; Figuras VI.15-VI.18). La mayor aportación al total de formas complejadas del suelo se debe a los megaagregados (>2 mm).

Tabla VI.9. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca

| | Contenido relativo | | | Aportación al total | | | $(Fe_p+Al_p)/C_p$ |
|-----------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|-------------------|
| | C_p | Fe_p | Al_p | C_p | Fe_p | Al_p | |
| Fracción de agregados | | | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 1,75 | 9,45 | 6,51 | 85,5 | 19,2 | 30,1 | 2,77 |
| Significación | 0,215 | 0,003 | 0,012 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,102 |
| Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 5,79 | 0,65 | 17,1 | 7,39 | 0,74 | 17,9 | 0,41 |
| Significación | 0,040 | 0,558 | 0,003 | 0,024 | 0,518 | 0,003 | 0,683 |
| Fracción x Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 4,49 | 2,49 | 4,30 | 27,5 | 6,46 | 21,1 | 5,42 |
| Significación | 0,019 | 0,099 | 0,022 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 0,010 |

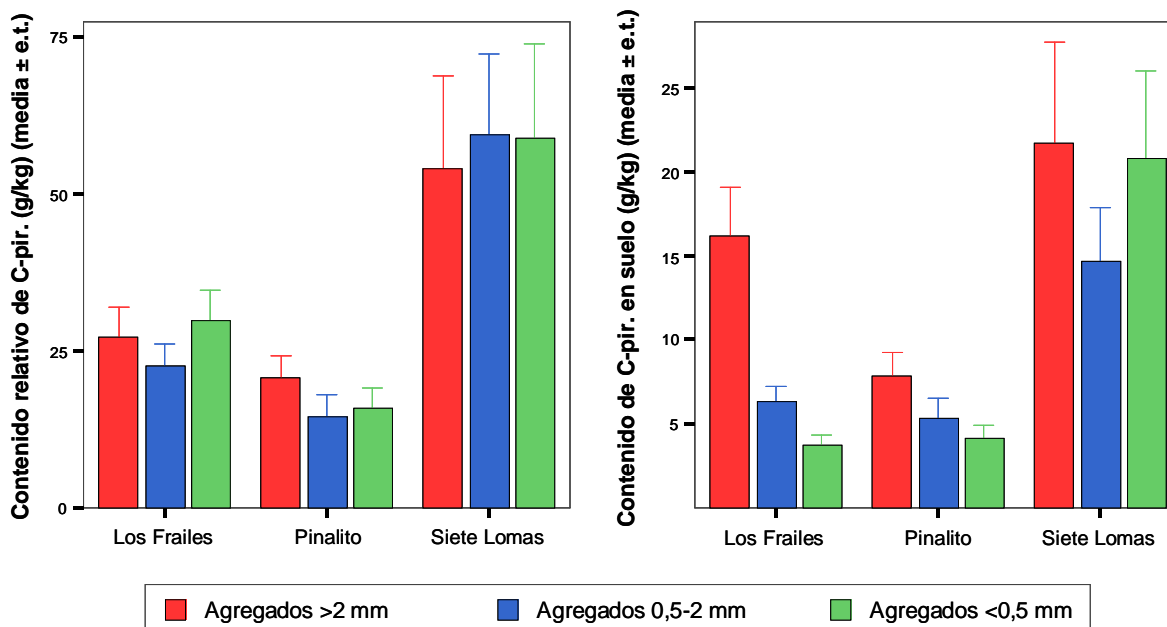


Figura VI.15. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

| | > 2 mm | 0,5-2 mm | < 0,5 mm | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|---|
| Tabla VI.10. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono (media \pm e.t.) de las distintas fracciones de agregados de los suelos de la zona montana seca | | | | |
| Contenido relativo de carbono complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 27,1 \pm 4,98 | 22,7 \pm 3,35 | 29,9 \pm 4,84 | A |
| Pinalito | 20,8 \pm 3,58 | 14,7 \pm 3,36 | 15,8 \pm 3,18 | A |
| Siete Lomas | 54,1 \pm 14,9 | 59,5 \pm 13,0 | 59,0 \pm 15,0 | B |
| | a | a | a | |
| Contenido relativo de hierro complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 0,75 \pm 0,23 | 0,60 \pm 0,28 | 0,82 \pm 0,23 | A |
| Pinalito | 0,88 \pm 0,22 | 0,73 \pm 0,19 | 0,73 \pm 0,18 | A |
| Siete Lomas | 1,08 \pm 0,24 | 0,84 \pm 0,08 | 1,18 \pm 0,20 | A |
| | a | b | a | |
| Contenido relativo de aluminio complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 2,51 \pm 0,43 | 1,96 \pm 0,44 | 2,45 \pm 0,31 | A |
| Pinalito | 1,80 \pm 0,36 | 1,75 \pm 0,70 | 1,75 \pm 0,55 | A |
| Siete Lomas | 6,57 \pm 1,26 | 6,00 \pm 0,85 | 8,28 \pm 1,06 | B |
| | ab | a | b | |
| Aportación al total de carbono complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 16,1 \pm 2,97 | 6,34 \pm 0,94 | 3,72 \pm 0,60 | A |
| Pinalito | 7,85 \pm 1,35 | 5,34 \pm 1,22 | 4,10 \pm 0,82 | A |
| Siete Lomas | 27,7 \pm 6,00 | 14,7 \pm 3,22 | 20,7 \pm 5,29 | B |
| | a | b | c | |
| Aportación al total de hierro complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Frailes | 0,45 \pm 0,14 | 0,17 \pm 0,08 | 0,10 \pm 0,03 | A |
| Pinalito | 0,33 \pm 0,08 | 0,27 \pm 0,07 | 0,19 \pm 0,05 | A |
| Siete Lomas | 0,43 \pm 0,09 | 0,21 \pm 0,02 | 0,41 \pm 0,07 | A |
| | a | b | b | |
| Aportación al total de aluminio complejado (g kg^{-1}) | | | | |
| Los Aceviños | 1,49 \pm 0,26 | 0,55 \pm 0,12 | 0,31 \pm 0,04 | A |
| Los Noruegos | 0,68 \pm 0,13 | 0,64 \pm 0,26 | 0,45 \pm 0,14 | A |
| Palos Pelados | 2,64 \pm 0,51 | 1,48 \pm 0,21 | 2,91 \pm 0,37 | B |
| | a | b | b | |
| $(\text{Fe}_p + \text{Al}_p)/\text{C}_p$ | | | | |
| Los Frailes | 0,12 \pm 0,01 | 0,11 \pm 0,01 | 0,11 \pm 0,01 | A |
| Pinalito | 0,13 \pm 0,01 | 0,16 \pm 0,02 | 0,15 \pm 0,01 | A |
| Siete Lomas | 0,17 \pm 0,06 | 0,13 \pm 0,04 | 0,18 \pm 0,04 | A |
| | a | a | a | |
| Los valores seguidos por letras diferentes presentan diferencias significativas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$) | | | | |

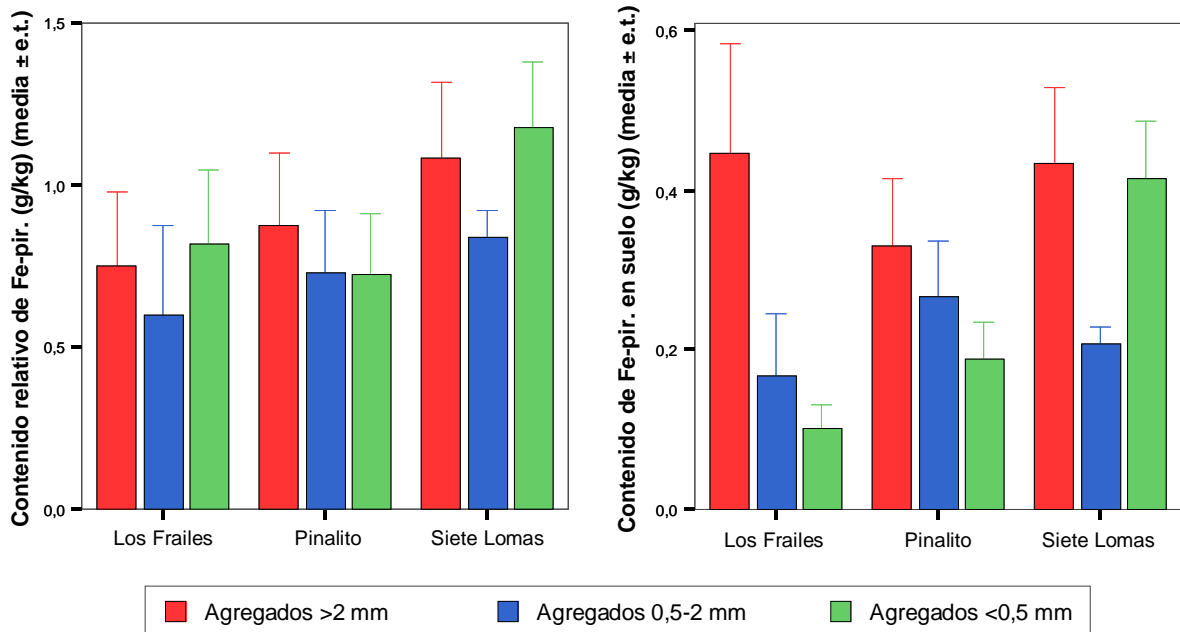


Figura VI.16. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

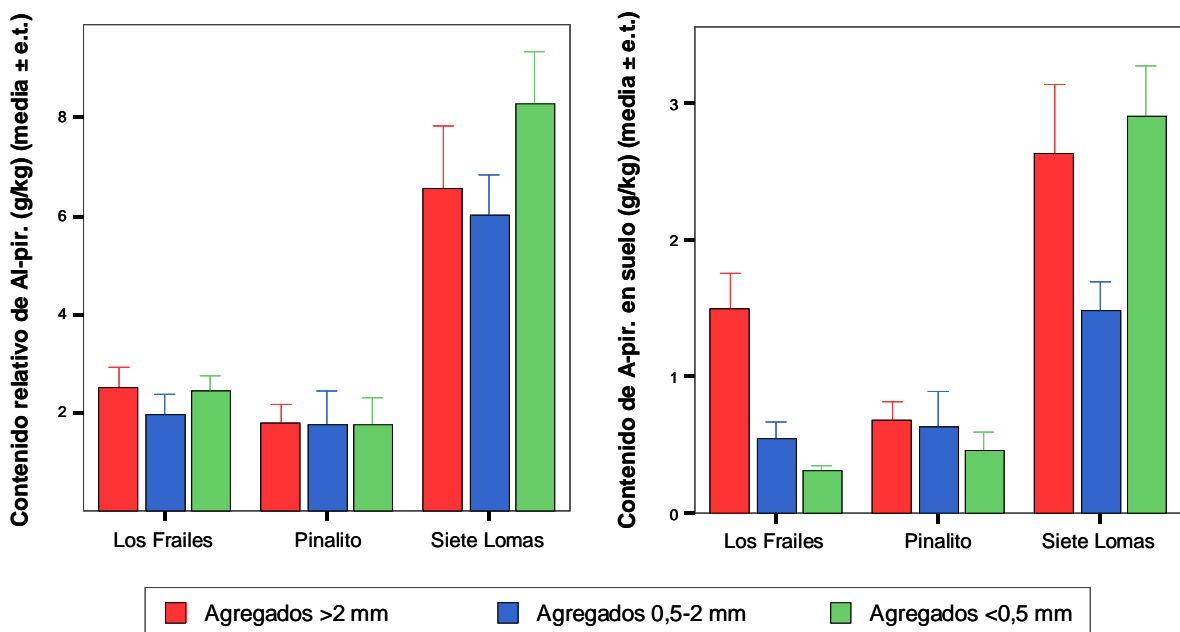


Figura VI.17. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

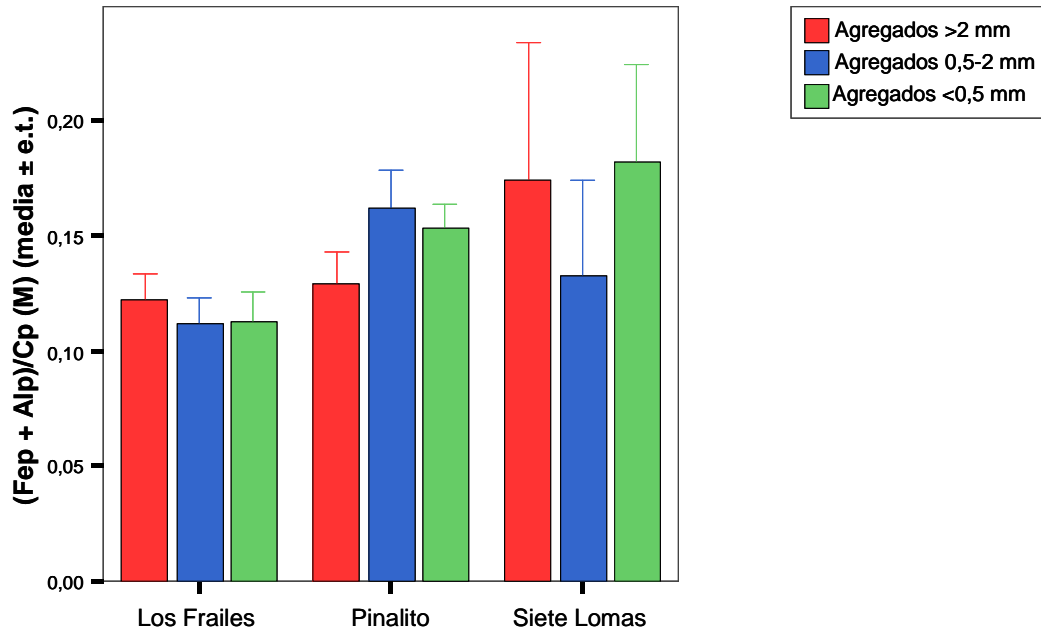


Figura VI.18. Grado de complejación del carbono $((Fe_p + Al_p)/C_p)$ de las distintas fracciones de agregados en los suelos de la zona montana seca

VI.3. CARBONO LIGADO A LAS DIFERENTES FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS: ARENAS, LIMOS Y ARCILLAS

Se analizan aquí los contenidos de carbono total y complejado y nitrógeno de las fracciones granulométricas gruesa (arenas) y fina (limos y arcillas), y su aportación relativa al total del suelo, en los tres ecosistemas estudiados: costero, montano húmedo y montano seco.

Las diferencias entre los contenidos de las distintas formas de carbono y nitrógeno de los distintos suelos y espesores de estudio, son tratadas extensamente en capítulos anteriores y no se exponen aquí. Sólo se discuten cuando el factor que representa el tamaño de partícula muestra una interacción estadísticamente significativa con la influencia del suelo particular, que indica que el patrón de distribución en las distintas fracciones granulométricas varía significativamente entre los suelos analizados.

VI.3.1. Composición granulométrica y clase textural

En la Tabla VI.11 y las Figuras VI.19-VI.21 se detalla la composición granulométrica de los suelos estudiados, a 0-15 cm y 15-30 cm.

Los suelos del ecosistema costero se caracterizan por presentar una textura franco-arenosa, más gruesa de 15 a 30 cm en los suelos de *Tabaibal de Rasca*.

Los suelos del monte verde se caracterizan por un predominio de los limos sobre las arcillas y arenas que se acentúa con la profundidad. La textura es franca o franco-limosa en los primeros 15 cm del suelo, y franco-limosa de 15 a 30 cm.

Los suelos bajo pinar de *Los Frailes* y *Pinalito* presentan una composición granulométrica similar, con texturas franca y franco-limosa respectivamente. Los suelos de *Siete Lomas* muestran una granulometría algo más gruesa y una textura franco-arenosa / franca.

| Tabla VI.11. Clase textural de los suelos de la zona de estudio | | |
|---|----------------|----------------|
| Parcela | Textura | |
| | 0-15 cm | 15-30 cm |
| ZONA COSTERA | | |
| Tabaibal de Rasca | Franco-arenosa | Franco-arenosa |
| Matorral de Rasca | Franco-arenosa | Franco-arenosa |
| ZONA MONTANA HÚMEDA | | |
| Los Aceviños | Franco-limosa | Franco-limosa |
| Los Noruegos | Franco-limosa | Franco-limosa |
| Palos Pelados | Franca | Franco-limosa |
| Pajaritos | Franca | Franco-limosa |
| Ravelo | Franco-limosa | Franco-limosa |
| ZONA MONTANA SECA | | |
| Los Frailes | Franca | Franca |
| Pinalito | Franco-limosa | Franco-limosa |
| Siete Lomas | Franco-arenosa | Franca |

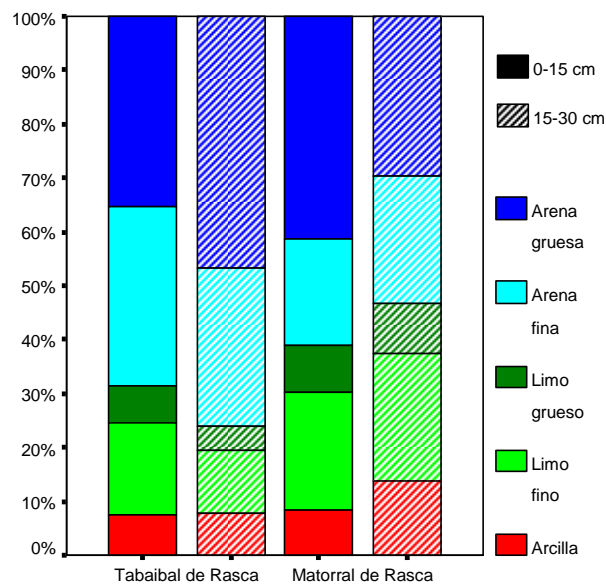


Figura VI.19. Composición granulométrica de los suelos de la zona costera

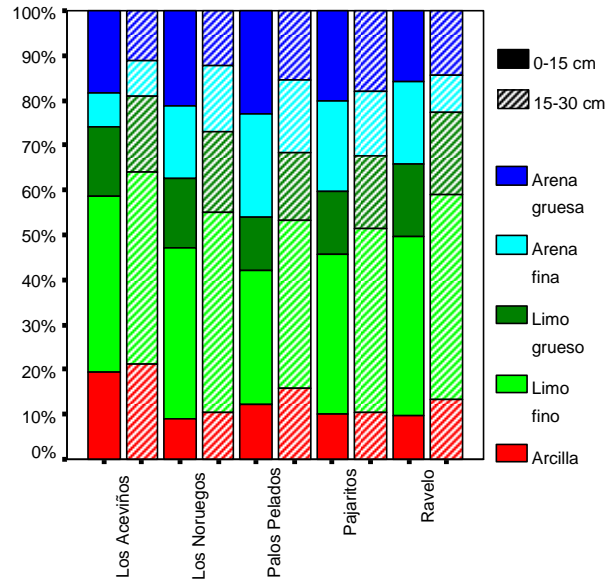


Figura VI.20. Composición granulométrica de los suelos de la zona montana húmeda

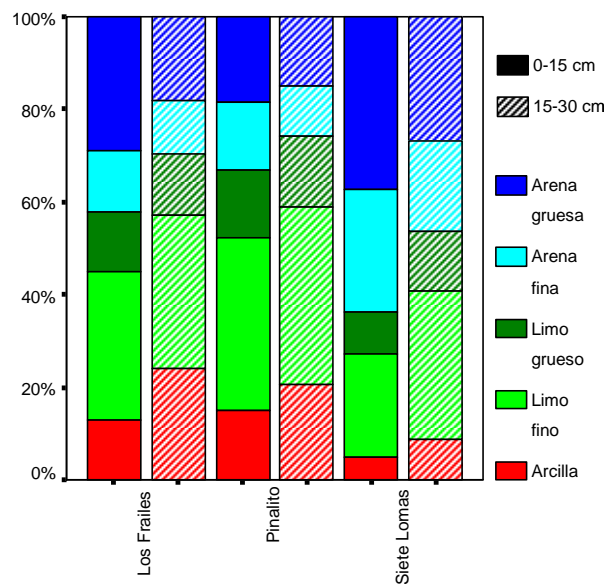


Figura VI.21. Composición granulométrica de los suelos de la zona montana seca

VI.3.2. Carbono orgánico oxidable y nitrógeno totales

i) ZONA COSTERA

Los contenidos relativos de carbono y nitrógeno en los suelos del ecosistema costero son mucho mayores en la fracción fina (limos + arcillas) que en la fracción arena (Tablas VI.12 y VI.13; Figuras VI.22 y VI.23). También es mayor la contribución de la fracción fina al total de carbono y nitrógeno del suelo, a pesar de constituir una fracción minoritaria (textura franco-arenosa). Estos resultados se relacionan no sólo con la mayor eficiencia de adsorción de la

materia orgánica por parte de la fracción fina, sino también con una fragmentación de los restos vegetales en trozos muy pequeños, que tienden a acumularse poco transformados en estos suelos (ver Secciones VII.3 y VII.4). La relación C/N no muestra diferencias entre las fracciones granulométricas estudiadas (Tablas VI.12 y VI.13; Figura VI.24).

| Tabla VI.12. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona costera | | | | | |
|---|--------------------|-------|---------------------|-------|--------------|
| | Contenido relativo | | Aportación al total | | Relación C/N |
| | C | N | C | N | |
| Fracción granulométrica | | | | | |
| F _{gl=1} | 308,5 | 213,5 | 170,4 | 114,5 | 0,15 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,713 |
| Profundidad | | | | | |
| F _{gl=1} | 9,23 | 4,70 | 10,2 | 5,65 | 0,59 |
| Significación | 0,016 | 0,062 | 0,013 | 0,045 | 0,465 |
| Parcela | | | | | |
| F _{gl=1} | 12,6 | 4,39 | 9,18 | 1,94 | 0,68 |
| Significación | 0,008 | 0,069 | 0,016 | 0,201 | 0,434 |
| Fracción x Profundidad | | | | | |
| F _{gl=1} | 1,56 | 2,65 | 1,34 | 2,39 | 0,48 |
| Significación | 0,247 | 0,142 | 0,281 | 0,161 | 0,510 |
| Fracción x Parcela | | | | | |
| F _{gl=1} | 1,48 | 0,93 | 1,41 | 1,25 | 0,47 |
| Significación | 0,258 | 0,362 | 0,269 | 0,295 | 0,514 |
| Profundidad x Parcela | | | | | |
| F _{gl=1} | 0,23 | 1,20 | 0,04 | 0,52 | 0,70 |
| Significación | 0,643 | 0,306 | 0,840 | 0,492 | 0,427 |

| Tabla VI.13. Contenidos de carbono y nitrógeno (media ± e.t.) de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona costera | | | | | |
|--|---|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | | 0-15 cm | | 15-30 cm | |
| | | Arenas | Arcillas y limos | Arenas | Arcillas y limos |
| Contenido relativo de carbono (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | a | 0,94 ± 0,06 | 12,3 ± 1,70 | 0,56 ± 0,12 | 7,79 ± 0,41 |
| Matorral de Rasca | b | 0,78 ± 0,24 | 5,13 ± 0,90 | 0,30 ± 0,13 | 3,34 ± 0,34 |
| Contenido relativo de nitrógeno (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | a | 0,08 ± 0,02 | 1,13 ± 0,10 | 0,08 ± 0,02 | 0,80 ± 0,05 |
| Matorral de Rasca | a | 0,12 ± 0,01 | 0,53 ± 0,00 | 0,05 ± 0,02 | 0,67 ± 0,01 |
| Aportación al total de carbono (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | a | 0,64 ± 0,04 | 3,89 ± 0,54 | 0,43 ± 0,09 | 1,87 ± 0,10 |
| Matorral de Rasca | b | 0,48 ± 0,15 | 1,99 ± 0,35 | 0,16 ± 0,07 | 1,56 ± 0,16 |
| Aportación al total de nitrógeno (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | a | 0,06 ± 0,01 | 0,36 ± 0,03 | 0,06 ± 0,01 | 0,19 ± 0,01 |
| Matorral de Rasca | a | 0,07 ± 0,01 | 0,21 ± 0,00 | 0,02 ± 0,01 | 0,31 ± 0,00 |
| Relación C/N | | | | | |
| Tabaibal de Rasca | a | 12,9 ± 2,74 | 11,0 ± 1,14 | 6,82 ± 0,30 | 9,78 ± 0,58 |
| Matorral de Rasca | a | 6,68 ± 2,19 | 9,66 ± 1,67 | 11,7 ± 6,92 | 4,98 ± 0,48 |
| Los valores seguidos con letras diferentes señalan diferencias significativas entre las parcelas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, p≤0,05) | | | | | |

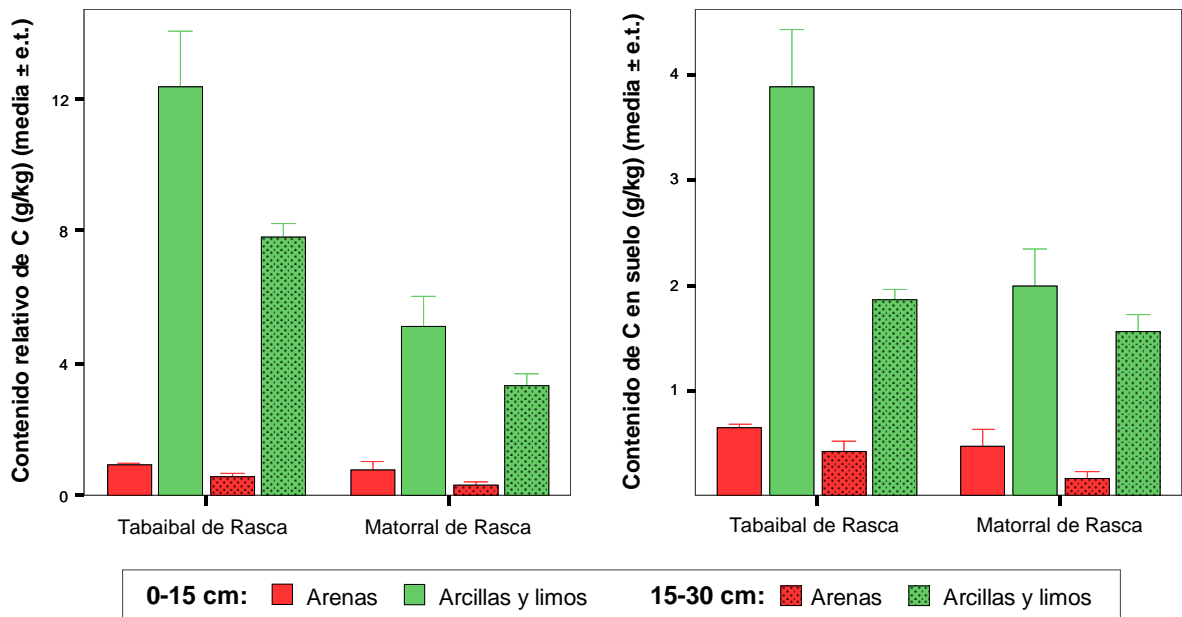


Figura VI.22. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona costera

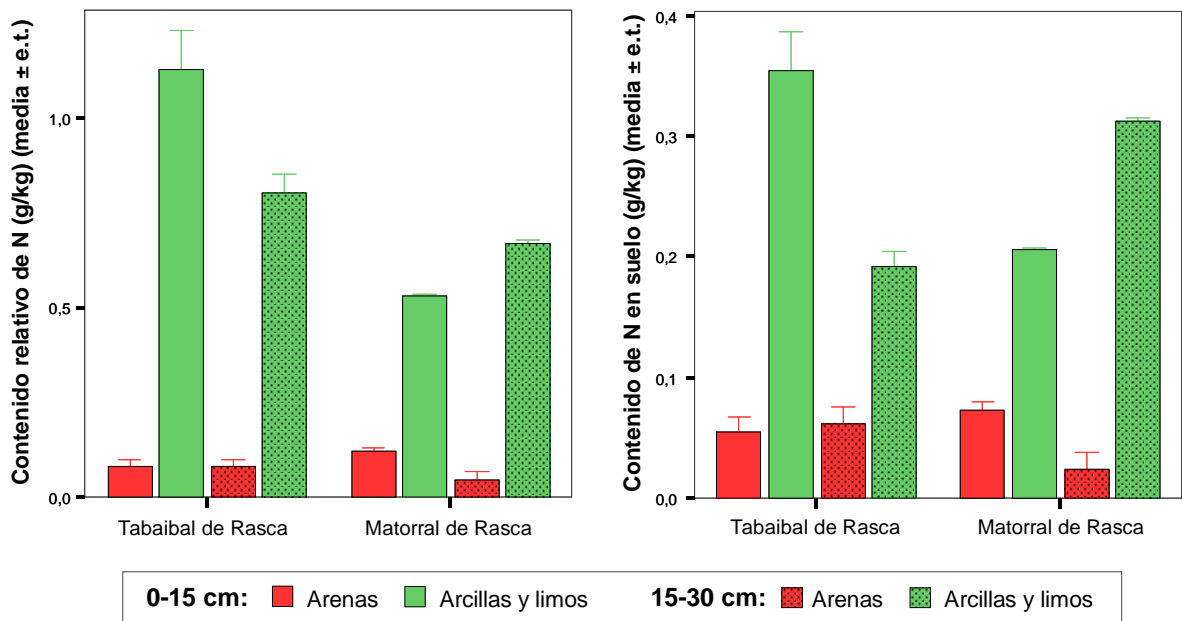


Figura VI.23. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona costera

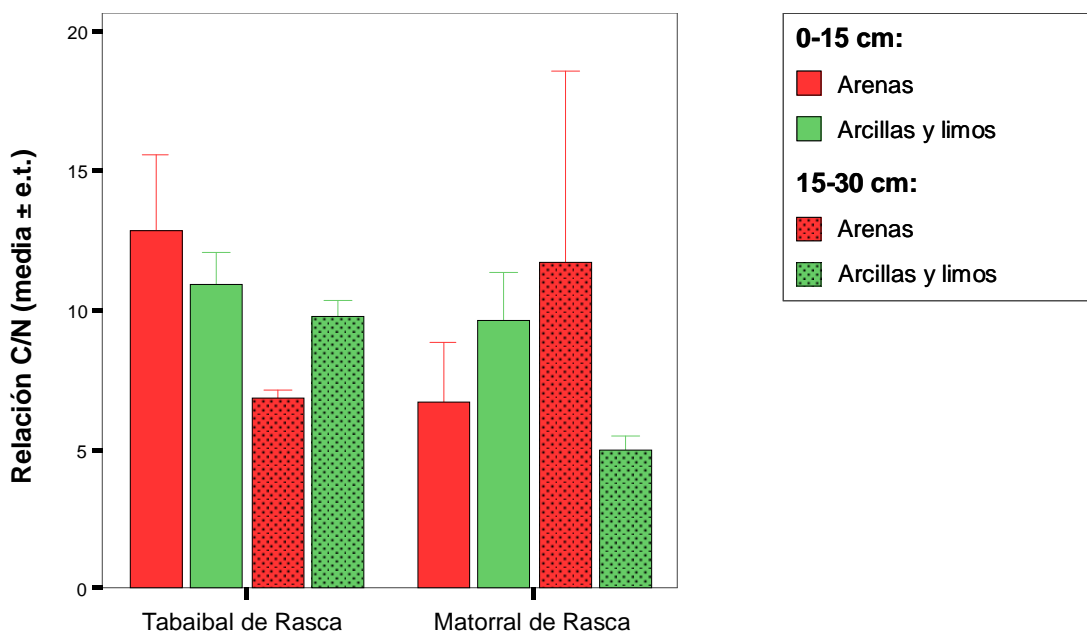


Figura VI.24. Proporción C/N de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona costera

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

El contenido relativo de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos del monteverde es mayor en la fracción de limo + arcilla que en la fracción arena, diferencia que se acentúa con la profundidad del suelo (Tablas VI.14 y VI.15; Figuras VI.25 y VI.26). En función del suelo, en *Los Aceviños* y *Ravelo* la fracción fina (limo + arcilla) es más rica en carbono y nitrógeno que la fracción gruesa (arena); en *Los Noruegos* la fracción gruesa es más rica que la fracción fina a 0-15 cm, y menos a 15-30 cm; en *Pajaritos* los contenidos son similares en superficie y un poco mayores en la fracción fina entre 15 y 30 cm; y, por último, en *Palos Pelados* el contenido de carbono de ambas fracciones es muy similar, mientras que el de nitrógeno tiende a ser mayor en la fracción fina, especialmente de 15 a 30 cm. Los resultados de *Pajaritos* y *Palos Pelados* indican una incorporación más rápida del nitrógeno que del carbono a la fracción fina, probablemente relacionada con la abundancia de tejidos esclerófilos en estas parcelas.

Por su parte, la contribución al total de carbono y nitrógeno del suelo revela una importancia mucho mayor de la fracción fina, incluso en los suelos de *Palos Pelados* y *Pajaritos*, afectados por procesos de argiluvación (ver Secciones III.6 y III.7), considerados como regresivos en Andosoles (Guerra, 2009), y como resultado de los cuales la granulometría es más gruesa en superficie.

La relación C/N es significativamente menor en la fracción fina (limos + arcillas) que en la fracción gruesa (arenas), especialmente en profundidad (Tablas VI.14 y VI.15; Figura VI.27). La única excepción es el suelo de *Los Aceviños*, donde la fracción fina presenta una relación C/N ligeramente mayor a la de la fracción arena, sobre todo en los primeros 15 cm. Este resultado concuerda con la degradación acelerada de los restos vegetales en este suelo (ver Secciones IV.3.1 y V.5.3.1), que se descompondrían rápidamente en una gran cantidad de fragmentos de tamaño muy reducido, localizándose en la fracción granulométrica fina.

Tabla VI.14. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda

| | Contenido relativo | | Aportación al total | | Relación C/N |
|-------------------------|--------------------|-------|---------------------|-------|--------------|
| | C | N | C | N | |
| Fracción granulométrica | | | | | |
| F _{gl=1} | 22,7 | 87,2 | 776,1 | 819,1 | 20,4 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Profundidad | | | | | |
| F _{gl=1} | 122,9 | 53,2 | 121,6 | 39,1 | 0,000 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,985 |
| Parcela | | | | | |
| F _{gl=4} | 3,88 | 3,11 | 3,69 | 4,75 | 7,51 |
| Significación | 0,017 | 0,038 | 0,021 | 0,007 | 0,001 |
| Fracción x Profundidad | | | | | |
| F _{gl=1} | 9,92 | 34,3 | 22,7 | 31,6 | 5,32 |
| Significación | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,032 |
| Fracción x Parcela | | | | | |
| F _{gl=4} | 12,7 | 12,5 | 41,1 | 47,2 | 5,61 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 |
| Profundidad x Parcela | | | | | |
| F _{gl=4} | 0,90 | 1,25 | 0,39 | 1,15 | 2,74 |
| Significación | 0,483 | 0,323 | 0,813 | 0,362 | 0,058 |

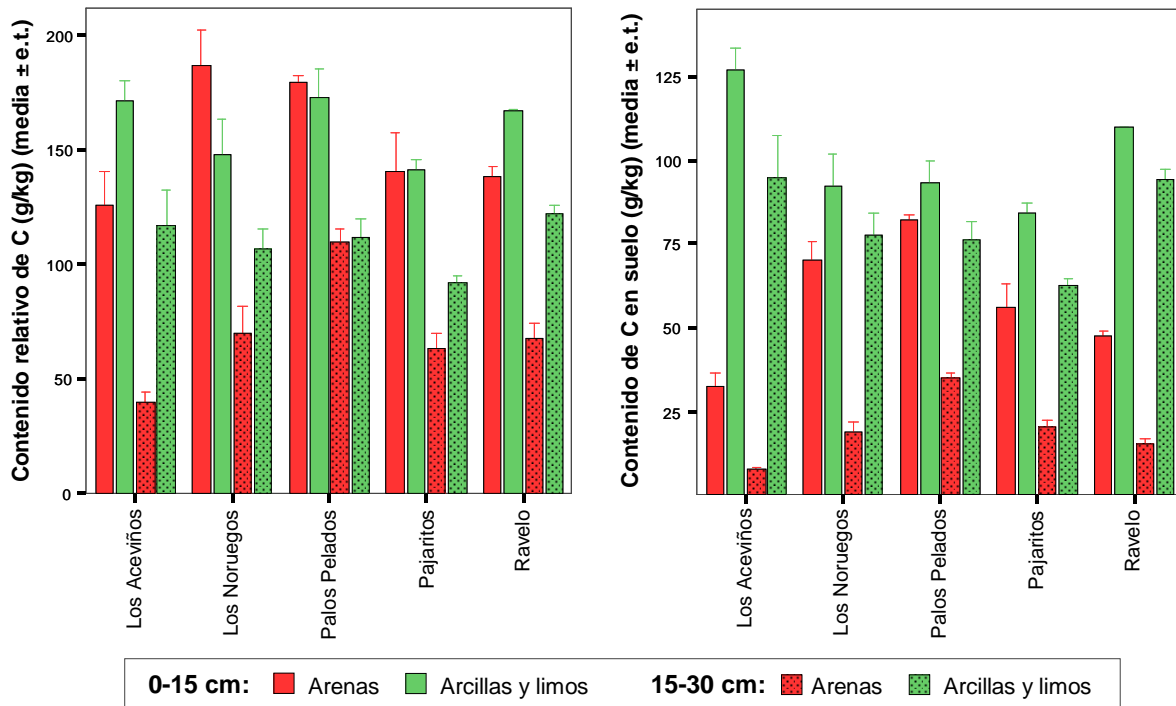


Figura VI.25. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda

El comportamiento opuesto se da en *Ravelo*, donde la relación C/N es mayor en la fracción arena, sobre todo en superficie, reflejo de una descomposición más lenta relacionada con el grado de esclerofilia de la hojarasca de pino. En los restantes suelos se observa una tendencia general a incrementarse con la profundidad la relación C/N en la fracción arena y disminuir en la fracción fina. Estos resultados revelan una transformación de la materia orgánica a la par que un flujo de material orgánico entre las fracciones granulométricas al aumentar la profundidad. La fracción arena se enriquece en compuestos recalcitrantes, de elevada relación C/N, al descomponerse sus componentes más lábiles que, bien se mineralizan, bien se transforman y pasan a formar parte de la materia orgánica de la fracción fina.

Tabla VI.15. Contenidos de carbono y nitrógeno (media \pm e.t.) de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda

| | | 0-15 cm | | 15-30 cm | |
|---|----|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Arenas | Arcillas y limos | Arenas | Arcillas y limos |
| Contenido relativo de carbono (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | ab | 125,5 \pm 14,6 | 171,1 \pm 8,59 | 39,6 \pm 4,95 | 117,2 \pm 15,0 |
| Los Noruegos | bc | 186,7 \pm 15,0 | 147,9 \pm 14,9 | 69,7 \pm 12,0 | 106,6 \pm 8,79 |
| Palos Pelados | c | 178,9 \pm 3,20 | 172,9 \pm 12,2 | 109,5 \pm 5,92 | 111,5 \pm 8,21 |
| Pajaritos | a | 140,0 \pm 17,2 | 141,0 \pm 4,84 | 63,4 \pm 6,59 | 92,2 \pm 2,99 |
| Ravelo | ab | 138,0 \pm 4,63 | 166,9 \pm 0,31 | 67,9 \pm 6,16 | 121,8 \pm 3,58 |
| Contenido relativo de nitrógeno (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | a | 9,68 \pm 1,05 | 11,5 \pm 0,97 | 3,15 \pm 0,76 | 8,25 \pm 1,16 |
| Los Noruegos | ab | 10,6 \pm 2,05 | 8,17 \pm 1,07 | 3,54 \pm 0,84 | 6,24 \pm 0,57 |
| Palos Pelados | a | 9,81 \pm 0,72 | 10,1 \pm 0,42 | 5,43 \pm 0,35 | 6,91 \pm 0,29 |
| Pajaritos | b | 7,53 \pm 1,36 | 7,81 \pm 0,49 | 2,19 \pm 0,50 | 5,02 \pm 0,04 |
| Ravelo | ab | 5,78 \pm 1,20 | 9,67 \pm 0,72 | 3,89 \pm 0,40 | 8,38 \pm 0,13 |
| Aportación al total de carbono (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | a | 32,4 \pm 3,78 | 126,8 \pm 6,37 | 7,55 \pm 0,94 | 94,9 \pm 12,2 |
| Los Noruegos | a | 70,1 \pm 5,62 | 92,3 \pm 9,27 | 18,8 \pm 3,25 | 77,8 \pm 6,42 |
| Palos Pelados | a | 82,3 \pm 1,47 | 93,4 \pm 6,59 | 34,7 \pm 1,88 | 76,1 \pm 5,61 |
| Pajaritos | b | 56,2 \pm 6,91 | 84,3 \pm 2,89 | 20,5 \pm 2,13 | 62,5 \pm 2,02 |
| Ravelo | a | 47,3 \pm 1,58 | 109,7 \pm 0,20 | 15,4 \pm 1,40 | 94,2 \pm 2,77 |
| Aportación al total de nitrógeno (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | a | 2,50 \pm 0,27 | 8,52 \pm 0,72 | 0,60 \pm 0,15 | 6,68 \pm 0,94 |
| Los Noruegos | bc | 3,99 \pm 0,77 | 5,10 \pm 0,67 | 0,96 \pm 0,23 | 4,55 \pm 0,41 |
| Palos Pelados | ab | 4,51 \pm 0,33 | 5,44 \pm 0,23 | 1,72 \pm 0,11 | 4,72 \pm 0,20 |
| Pajaritos | c | 3,03 \pm 0,54 | 4,67 \pm 0,29 | 0,71 \pm 0,16 | 3,40 \pm 0,03 |
| Ravelo | ab | 1,98 \pm 0,41 | 6,36 \pm 0,47 | 0,88 \pm 0,09 | 6,49 \pm 0,10 |
| Relación C/N | | | | | |
| Los Aceviños | a | 13,0 \pm 0,21 | 15,0 \pm 0,60 | 13,7 \pm 2,31 | 14,4 \pm 1,21 |
| Los Noruegos | b | 18,7 \pm 2,81 | 18,3 \pm 0,83 | 20,5 \pm 2,10 | 17,1 \pm 0,36 |
| Palos Pelados | b | 18,5 \pm 1,56 | 17,1 \pm 0,61 | 20,5 \pm 2,42 | 16,1 \pm 0,53 |
| Pajaritos | b | 19,0 \pm 1,79 | 18,3 \pm 1,65 | 30,6 \pm 3,89 | 18,4 \pm 0,46 |
| Ravelo | b | 25,7 \pm 4,23 | 17,5 \pm 1,37 | 17,5 \pm 0,27 | 14,5 \pm 0,21 |

Los valores seguidos con letras diferentes señalan diferencias significativas entre las parcelas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$)

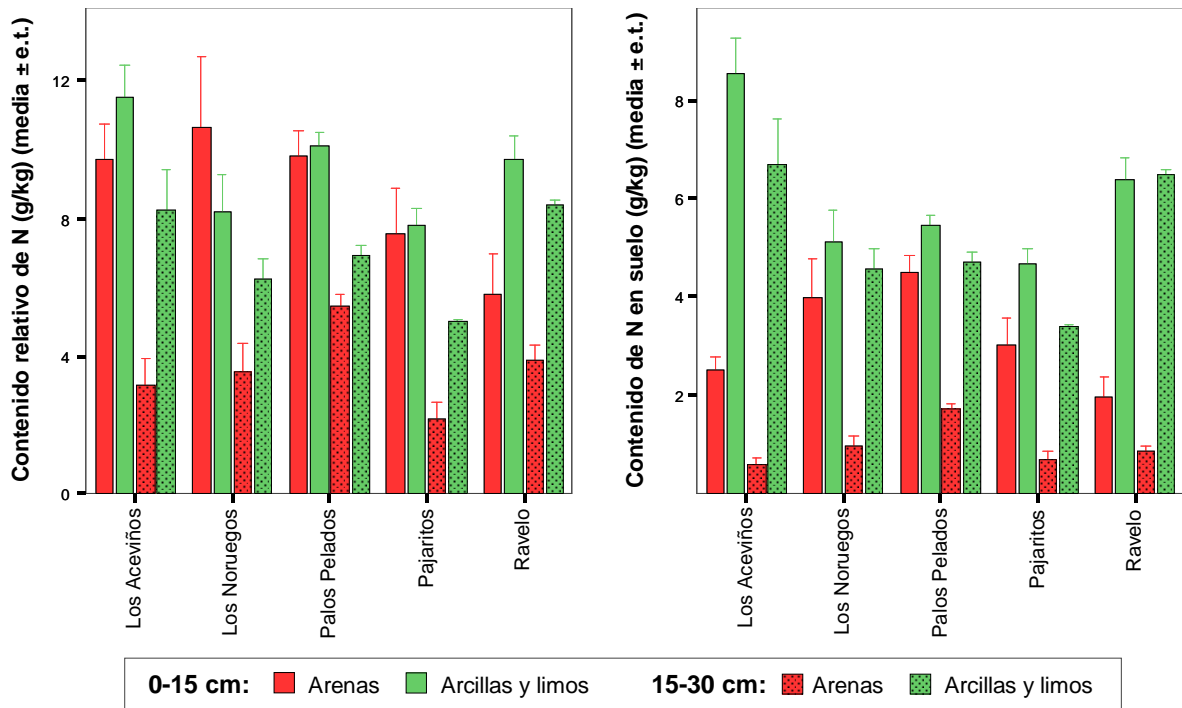


Figura VI.26. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda

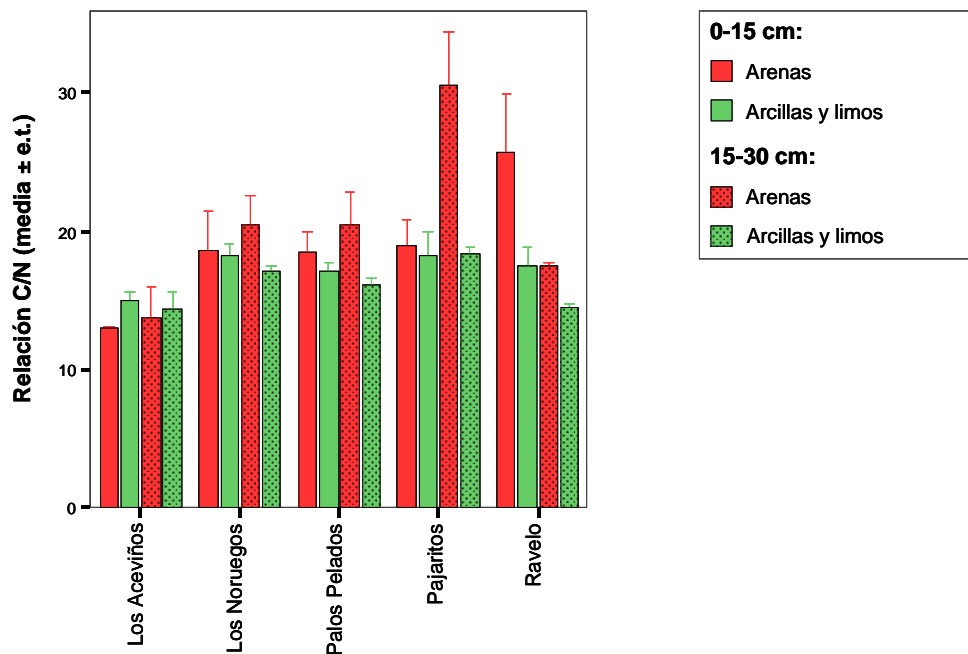


Figura VI.27. Proporción C/N de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda

iii) ZONA MONTANA SECA

En los suelos de este ecosistema los contenidos relativos de carbono y nitrógeno de las fracciones granulométricas fina y gruesa no difieren significativamente (Tablas VI.16 y VI.17; Figuras VI.28 y VI.29). En *Los Frailes*, son muy superiores en la fracción fina, especialmente en los primeros 15 cm del suelo. En *Pinalito* son, en general, similares o ligeramente mayores en la fracción arena para ambas profundidades. En *Siete Lomas*, el contenido de carbono de las arenas es mayor que el de la fracción fina en los primeros 15 cm del suelo, y mucho menor de 15 a 30 cm de profundidad.

Considerando la aportación de cada fracción granulométrica, en los suelos de *Los Frailes* y *Pinalito* la fracción fina es la que contribuye en mayor medida al stock de carbono y nitrógeno del suelo; en *Siete Lomas*, la fracción arena tiene una importancia mucho mayor en superficie, relacionada con su textura franco-arenosa. La granulometría relativamente más gruesa de *Siete Lomas* (Tabla VI.11) respecto a otros Andosoles estudiados señala la incidencia de procesos erosivos (ver también Sección IV.4.3), que en estos suelos tienden a movilizar de modo preferente la fracción más fina y el carbono contenido en ella (Rodríguez Rodríguez, 2002a, 2004a).

Los valores de la relación C/N son mayores en la fracción arena, sobre todo en profundidad, en los suelos de *Los Frailes* y *Pinalito*, y similares a los de la fracción fina en *Siete Lomas* (Tablas VI.16 y VI.17; Figura VI.30). Las diferencias entre suelos se relacionan probablemente con la más lenta descomposición de las acículas de pino en *Los Frailes* y *Pinalito*, respecto a la hojarasca rica en nitrógeno de *Siete Lomas*.

| Tabla VI.16. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono y nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana seca | | | | | |
|--|--------------------|-------|---------------------|-------|--------------|
| | Contenido relativo | | Aportación al total | | Relación C/N |
| | C | N | C | N | |
| Fracción granulométrica | | | | | |
| F _{gl=1} | 36,8 | 66,8 | 52,9 | 91,6 | 10,7 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,007 |
| Profundidad | | | | | |
| F _{gl=1} | 83,7 | 68,0 | 68,1 | 105,1 | 0,43 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,525 |
| Parcela | | | | | |
| F _{gl=2} | 55,7 | 108,4 | 56,6 | 229,2 | 125,0 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Fracción x Profundidad | | | | | |
| F _{gl=1} | 2,65 | 11,2 | 28,3 | 44,0 | 4,56 |
| Significación | 0,129 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,054 |
| Fracción x Parcela | | | | | |
| F _{gl=2} | 31,6 | 25,1 | 76,7 | 66,3 | 9,84 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,003 |
| Profundidad x Parcela | | | | | |
| F _{gl=2} | 0,547 | 1,70 | 4,23 | 3,68 | 3,06 |
| Significación | 0,593 | 0,224 | 0,041 | 0,057 | 0,084 |

Tabla VI.17. Contenidos de carbono y nitrógeno (media ± e.t.) de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana seca

| | 0-15 cm | | 15-30 cm | | |
|--|---------|------------------|--------------|------------------|-------------|
| | Arenas | Arcillas y limos | Arenas | Arcillas y limos | |
| Contenido relativo de carbono (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Los Frailes | a | 33,7 ± 7,16 | 81,8 ± 11,6 | 14,0 ± 2,22 | 29,9 ± 2,22 |
| Pinalito | a | 45,5 ± 6,24 | 38,3 ± 1,55 | 18,1 ± 3,18 | 16,1 ± 2,13 |
| Siete Lomas | b | 120,7 ± 10,3 | 110,9 ± 8,64 | 44,1 ± 2,76 | 72,7 ± 4,35 |
| Contenido relativo de nitrógeno (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Los Frailes | a | 1,32 ± 0,26 | 4,11 ± 0,53 | 0,52 ± 0,06 | 1,89 ± 0,20 |
| Pinalito | a | 2,46 ± 0,73 | 2,19 ± 0,08 | 0,53 ± 0,16 | 0,97 ± 0,16 |
| Siete Lomas | b | 11,7 ± 0,66 | 10,1 ± 0,68 | 4,38 ± 0,36 | 6,49 ± 0,44 |
| Aportación al total de carbono (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Los Frailes | b | 14,2 ± 3,03 | 47,3 ± 6,71 | 4,14 ± 0,65 | 21,1 ± 1,56 |
| Pinalito | c | 15,1 ± 2,07 | 25,6 ± 1,04 | 4,66 ± 0,82 | 11,9 ± 1,58 |
| Siete Lomas | a | 77,1 ± 6,55 | 40,1 ± 3,12 | 20,5 ± 1,28 | 38,9 ± 2,33 |
| Aportación al total de nitrógeno (g kg ⁻¹) | | | | | |
| Los Frailes | b | 0,56 ± 0,11 | 2,37 ± 0,31 | 0,15 ± 0,02 | 1,33 ± 0,14 |
| Pinalito | a | 0,82 ± 0,24 | 1,47 ± 0,05 | 0,14 ± 0,04 | 0,72 ± 0,12 |
| Siete Lomas | c | 7,44 ± 0,42 | 3,66 ± 0,25 | 2,04 ± 0,17 | 3,48 ± 0,24 |
| Relación C/N | | | | | |
| Los Frailes | a | 25,5 ± 1,27 | 19,9 ± 0,59 | 26,8 ± 2,23 | 16,0 ± 1,05 |
| Pinalito | a | 20,1 ± 2,90 | 17,5 ± 0,10 | 36,5 ± 4,05 | 16,8 ± 0,72 |
| Siete Lomas | b | 10,4 ± 0,88 | 10,9 ± 0,12 | 10,2 ± 0,97 | 11,2 ± 0,13 |

Los valores seguidos con letras diferentes señalan diferencias significativas entre las parcelas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, p≤0,05)

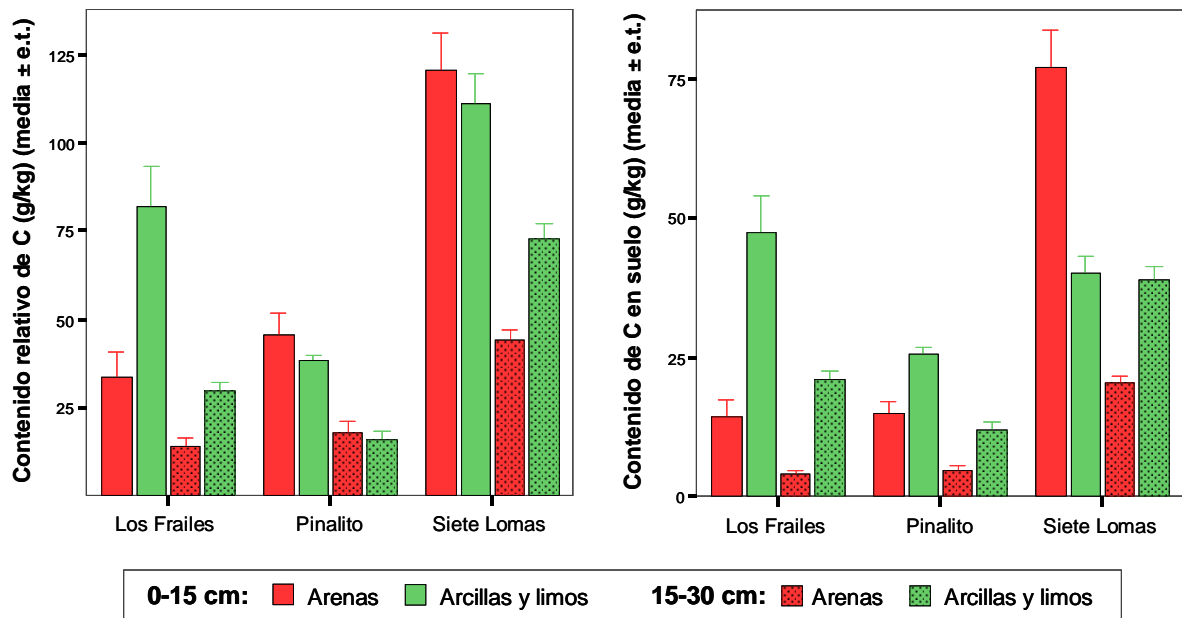


Figura VI.28. Contenido relativo y aportación al total de carbono de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca

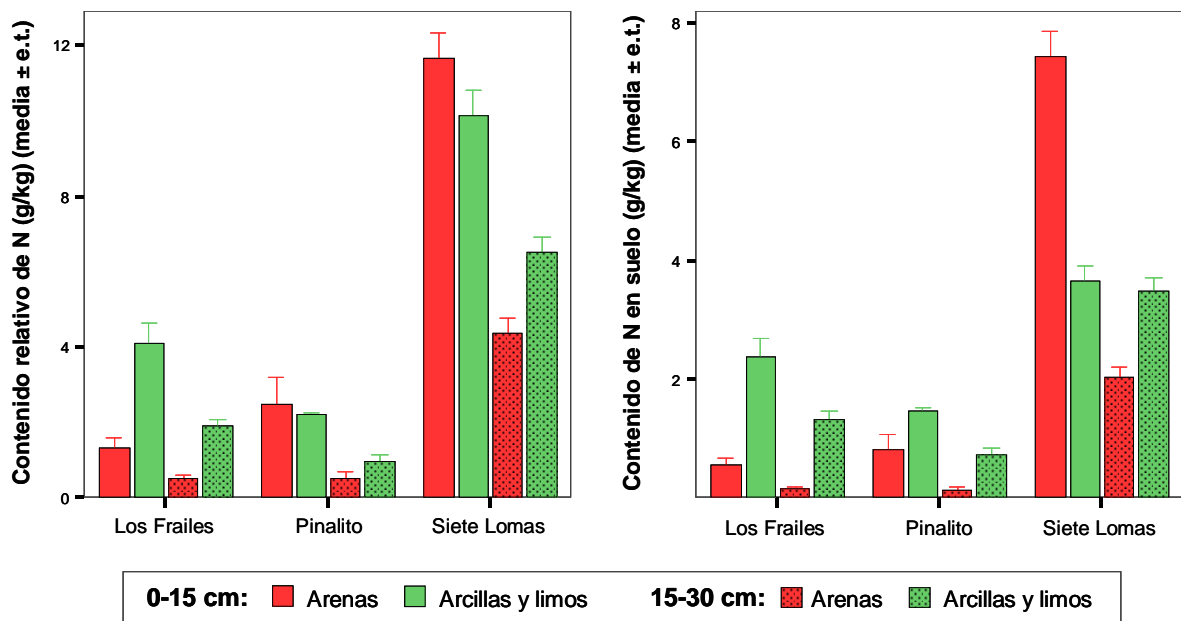


Figura VI.29. Contenido relativo y aportación al total de nitrógeno de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca

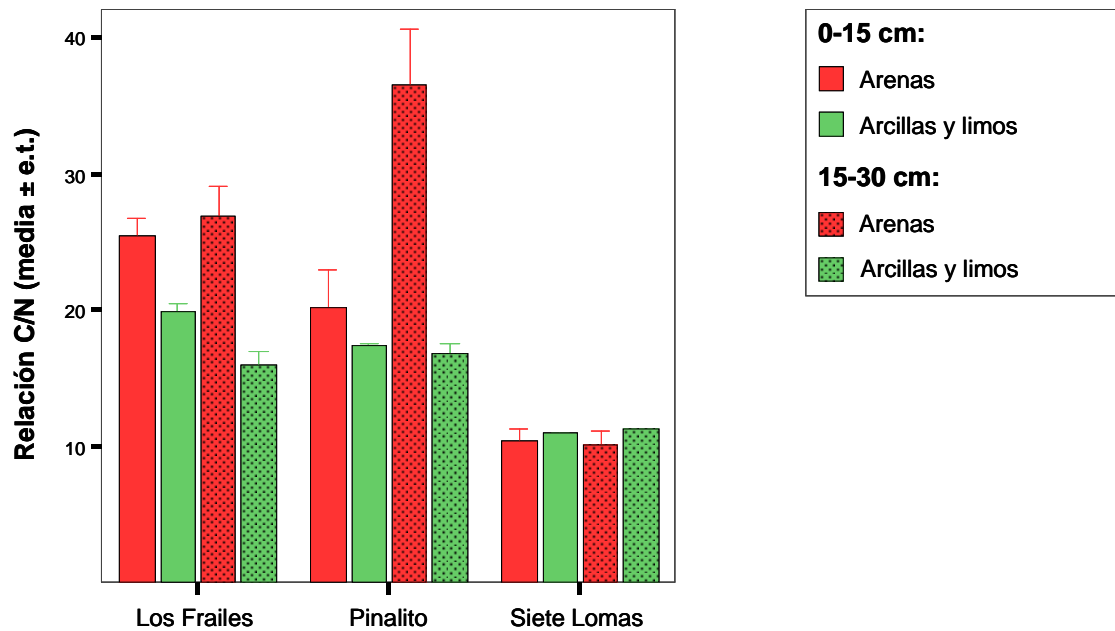


Figura VI.30. Proporción C/N de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca

VI.3.3. Carbono en formas complejadas: carbono y metales pirofosfato y grado de complejación

i) ZONA COSTERA

En el ecosistema costero no se estudió el carbono y metales en formas complejadas contenido en las distintas fracciones granulométricas, al haberse comprobado previamente la escasa importancia cuantitativa del carbono complejado de los suelos de este ecosistema (ver Sección V.4.2).

ii) ZONA MONTANA HÚMEDA

Los contenidos relativos de carbono y metales en formas complejadas de los suelos del monte verde son significativamente mayores en la fracción fina del suelo (limos + arcillas) (Tablas VI.18 y VI.19; Figuras VI.31-VI.33). Aun así, la fracción arena muestra un apreciable contenido de formas amorfas, que cementan la unión de partículas finas dando lugar a pseudoarenas.

La contribución de la fracción fina al total de carbono, hierro y aluminio en formas complejadas es aún mayor, a causa de la textura fina, predominantemente franco-limosa, de los suelos del monte verde. Los mismos resultados se obtienen en relación al grado de complejación del carbono del suelo, mayor en la fracción fina (Tablas VI.18 y VI.19; Figura VI.34).

Tabla VI.18. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda

| | Contenido relativo | | | Aportación al total | | | $(Fe_p+Al_p)/C_p$ |
|-------------------------|--------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|-------------------|
| | C_p | Fe_p | Al_p | C_p | Fe_p | Al_p | |
| Fracción granulométrica | | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 268,4 | 267,9 | 351,6 | 1531,2 | 599,0 | 258,9 | 53,0 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Profundidad | | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 37,9 | 8,83 | 3,80 | 23,8 | 11,2 | 4,21 | 37,0 |
| Significación | 0,000 | 0,008 | 0,065 | 0,000 | 0,003 | 0,054 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 13,3 | 47,2 | 17,9 | 11,5 | 41,8 | 15,7 | 4,53 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,009 |
| Fracción x Profundidad | | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 1,38 | 0,22 | 0,214 | 22,5 | 11,3 | 0,52 | 0,00 |
| Significación | 0,253 | 0,645 | 0,649 | 0,000 | 0,003 | 0,480 | 0,963 |
| Fracción x Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 7,16 | 1,75 | 4,13 | 32,9 | 3,03 | 2,41 | 1,24 |
| Significación | 0,001 | 0,179 | 0,013 | 0,000 | 0,042 | 0,083 | 0,325 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=4}$ | 0,55 | 2,89 | 1,02 | 0,34 | 2,99 | 1,30 | 1,21 |
| Significación | 0,700 | 0,049 | 0,422 | 0,845 | 0,044 | 0,306 | 0,337 |

Tabla VI.19. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono (media \pm e.t.) de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda

| | | 0-15 cm | | 15-30 cm | |
|--|----|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Arenas | Arcillas y limos | Arenas | Arcillas y limos |
| Contenido relativo de carbono pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | b | 32,1 \pm 3,80 | 73,4 \pm 3,78 | 23,0 \pm 2,66 | 59,1 \pm 4,68 |
| Los Noruegos | b | 52,8 \pm 2,46 | 63,0 \pm 3,17 | 35,1 \pm 6,51 | 60,7 \pm 6,21 |
| Palos Pelados | a | 67,0 \pm 5,60 | 76,3 \pm 2,46 | 50,3 \pm 1,99 | 65,1 \pm 2,30 |
| Pajaritos | c | 32,9 \pm 1,15 | 62,8 \pm 3,96 | 18,6 \pm 0,84 | 48,4 \pm 3,52 |
| Ravelo | b | 41,5 \pm 5,65 | 75,3 \pm 2,73 | 31,5 \pm 3,18 | 60,4 \pm 0,77 |
| Contenido relativo de hierro pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | b | 1,74 \pm 0,39 | 9,52 \pm 1,18 | 2,18 \pm 0,47 | 11,0 \pm 1,94 |
| Los Noruegos | ab | 2,46 \pm 0,14 | 7,43 \pm 1,12 | 2,27 \pm 0,35 | 8,67 \pm 1,18 |
| Palos Pelados | c | 5,47 \pm 0,48 | 16,1 \pm 2,93 | 10,2 \pm 2,91 | 22,6 \pm 2,82 |
| Pajaritos | ab | 0,91 \pm 0,07 | 7,45 \pm 0,15 | 1,30 \pm 0,23 | 10,5 \pm 0,62 |
| Ravelo | a | 1,68 \pm 0,25 | 7,35 \pm 1,14 | 1,67 \pm 0,22 | 6,36 \pm 0,56 |
| Contenido relativo de aluminio pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | ab | 5,37 \pm 0,65 | 16,4 \pm 3,12 | 5,57 \pm 0,93 | 17,0 \pm 2,46 |
| Los Noruegos | b | 7,77 \pm 0,53 | 14,5 \pm 2,15 | 9,89 \pm 0,85 | 17,9 \pm 2,23 |
| Palos Pelados | c | 11,1 \pm 1,02 | 19,1 \pm 1,07 | 14,2 \pm 1,71 | 25,1 \pm 1,23 |
| Pajaritos | a | 4,39 \pm 0,31 | 14,2 \pm 0,77 | 4,30 \pm 0,33 | 16,3 \pm 2,96 |
| Ravelo | c | 10,3 \pm 1,09 | 24,8 \pm 1,56 | 10,8 \pm 1,42 | 23,3 \pm 1,84 |
| Aportación al total de carbono pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | b | 8,31 \pm 0,98 | 54,4 \pm 2,80 | 4,38 \pm 0,51 | 47,8 \pm 3,79 |
| Los Noruegos | b | 19,8 \pm 0,92 | 39,3 \pm 1,98 | 9,49 \pm 1,76 | 44,3 \pm 4,53 |
| Palos Pelados | a | 30,8 \pm 2,57 | 41,2 \pm 1,33 | 16,0 \pm 0,63 | 44,4 \pm 1,57 |
| Pajaritos | c | 13,2 \pm 0,46 | 37,6 \pm 2,37 | 5,99 \pm 0,27 | 32,8 \pm 2,38 |
| Ravelo | b | 14,2 \pm 1,93 | 49,5 \pm 1,79 | 7,13 \pm 0,72 | 46,7 \pm 0,60 |
| Aportación al total de hierro pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | b | 0,45 \pm 0,10 | 7,06 \pm 0,87 | 0,42 \pm 0,09 | 8,90 \pm 1,57 |
| Los Noruegos | ab | 0,93 \pm 0,05 | 4,64 \pm 0,70 | 0,61 \pm 0,10 | 6,33 \pm 0,86 |
| Palos Pelados | c | 2,52 \pm 0,22 | 8,72 \pm 1,58 | 3,23 \pm 0,92 | 15,4 \pm 1,92 |
| Pajaritos | a | 0,36 \pm 0,03 | 4,46 \pm 0,09 | 0,42 \pm 0,07 | 7,08 \pm 0,42 |
| Ravelo | a | 0,57 \pm 0,09 | 4,83 \pm 0,75 | 0,38 \pm 0,05 | 4,92 \pm 0,43 |
| Aportación al total de aluminio pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Aceviños | ab | 1,39 \pm 0,17 | 12,2 \pm 2,32 | 1,06 \pm 0,18 | 13,8 \pm 2,00 |
| Los Noruegos | b | 2,92 \pm 0,20 | 9,08 \pm 1,34 | 2,67 \pm 0,23 | 13,0 \pm 1,62 |
| Palos Pelados | c | 5,13 \pm 0,47 | 10,3 \pm 0,58 | 4,52 \pm 0,54 | 17,1 \pm 0,84 |
| Pajaritos | a | 1,76 \pm 0,13 | 8,52 \pm 0,46 | 1,39 \pm 0,11 | 11,1 \pm 2,01 |
| Ravelo | c | 3,53 \pm 0,37 | 16,3 \pm 1,03 | 2,45 \pm 0,32 | 18,0 \pm 1,42 |
| $(\text{Fe}_p + \text{Al}_p)/\text{C}_p$ | | | | | |
| Los Aceviños | a | 0,23 \pm 0,04 | 0,35 \pm 0,05 | 0,35 \pm 0,08 | 0,49 \pm 0,11 |
| Los Noruegos | a | 0,20 \pm 0,02 | 0,35 \pm 0,05 | 0,37 \pm 0,07 | 0,46 \pm 0,10 |
| Palos Pelados | b | 0,25 \pm 0,03 | 0,46 \pm 0,05 | 0,49 \pm 0,09 | 0,74 \pm 0,05 |
| Pajaritos | a | 0,16 \pm 0,01 | 0,35 \pm 0,01 | 0,30 \pm 0,01 | 0,55 \pm 0,04 |
| Ravelo | ab | 0,29 \pm 0,03 | 0,43 \pm 0,02 | 0,39 \pm 0,01 | 0,49 \pm 0,03 |

Los valores seguidos con letras diferentes señalan diferencias significativas entre las parcelas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$)

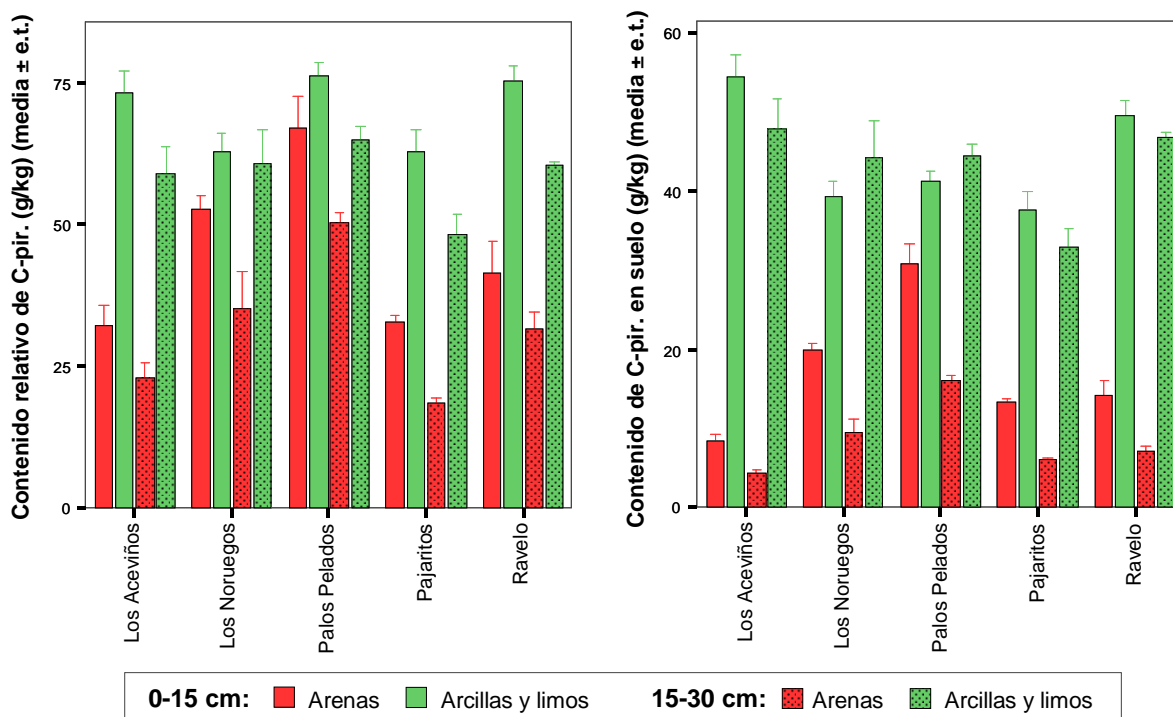


Figura VI.31. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda

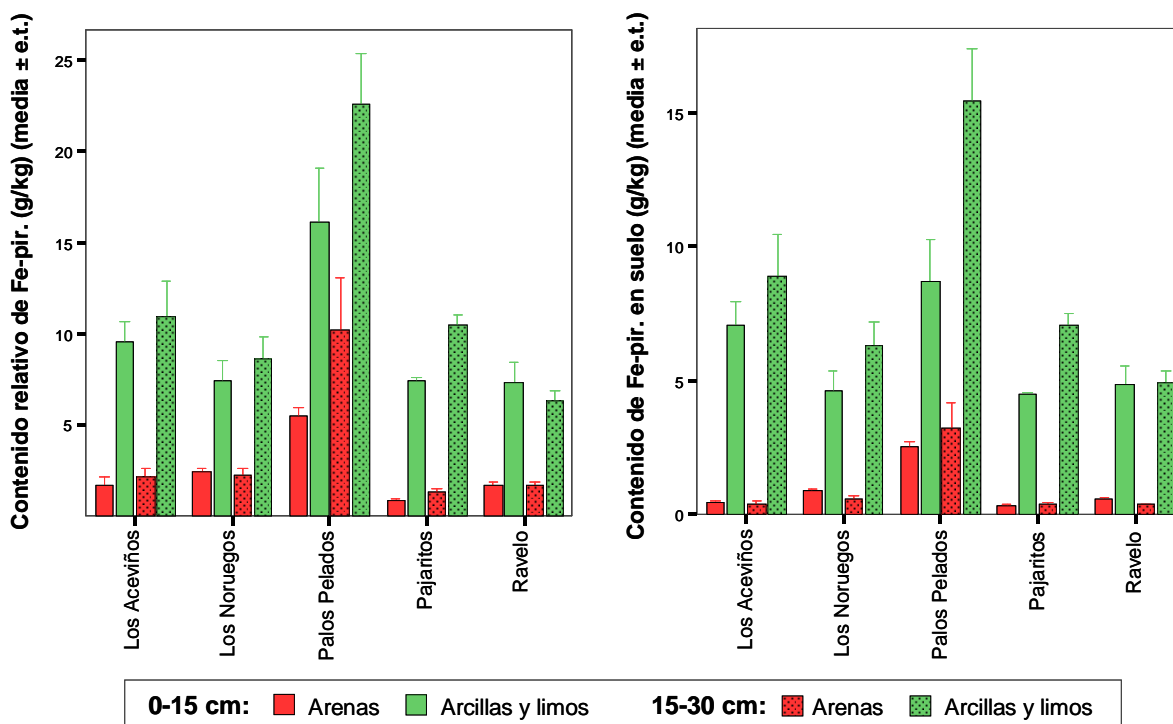


Figura VI.32. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda

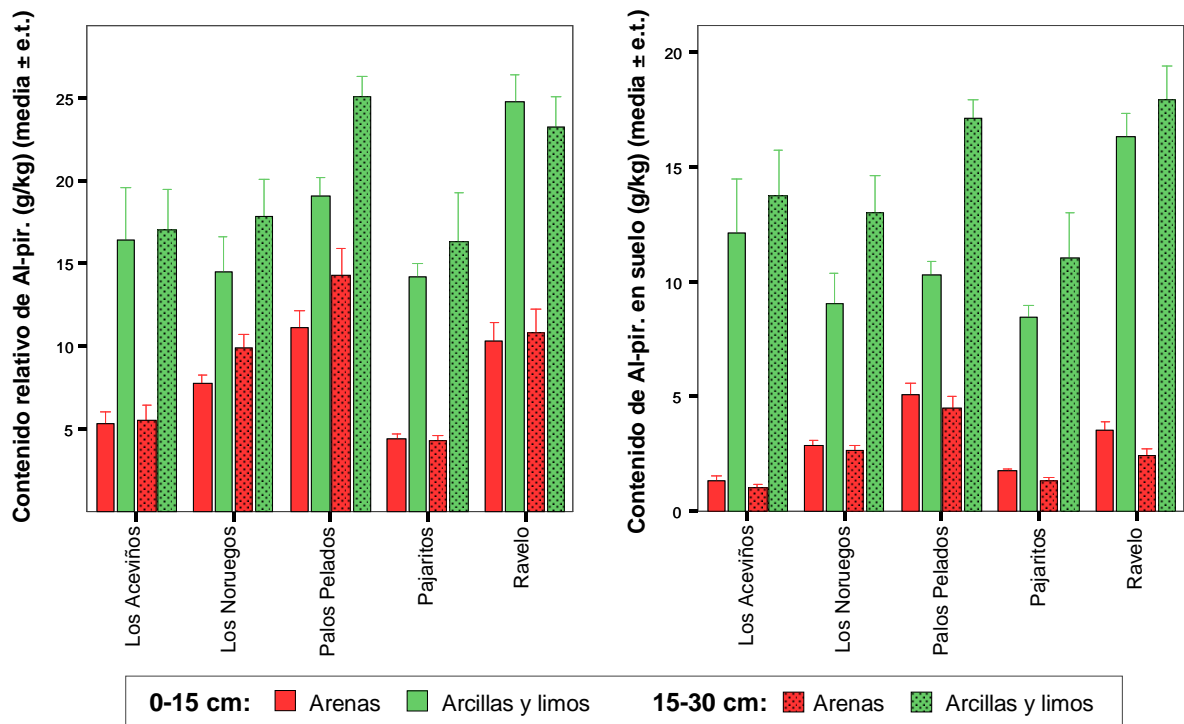


Figura VI.33. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana húmeda

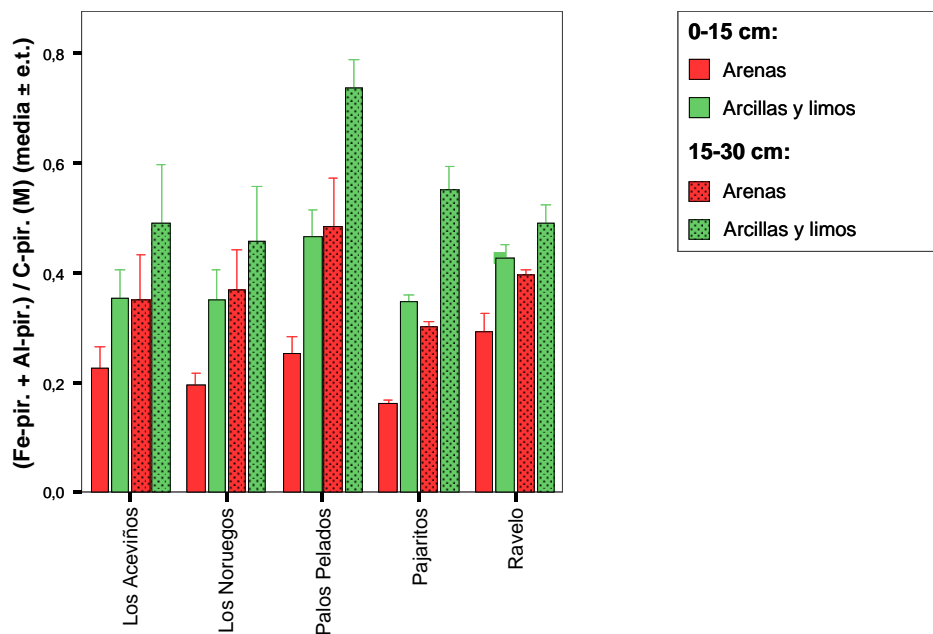


Figura VI.34. Grado de complejación del carbono en los suelos de la zona montana húmeda

iii) ZONA MONTANA SECA

El contenido de carbono complejado de las distintas fracciones granulométricas varía significativamente entre los suelos estudiados: mayor en la fracción fina que en la gruesa en las muestras de *Los Frailes* y de *Siete Lomas* entre 15 y 30 cm, y similar en las demás (Tablas VI.20 y VI.21; Figura VI.35). La mayor aportación al total se debe a la fracción fina en todas las muestras, salvo en la superficial de *Siete Lomas*, de textura más gruesa, donde son más importantes las arenas.

Los contenidos relativos de hierro y aluminio complejados y su contribución al total del suelo, son siempre mucho mayores para la fracción fina, donde parece localizarse la mayor parte de amorfos (Tablas VI.20 y VI.21; Figuras VI.36 y VI.37). También el grado de complejación es mayor en la fracción fina del suelo (Tablas VI.20 y VI.21; Figura VI.38).

| Tabla VI.20. Análisis de la Varianza (ANOVA de medidas repetidas) de los contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana seca | | | | | | | |
|---|--------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|-------------------|
| | Contenido relativo | | | Aportación al total | | | $(Fe_p+Al_p)/C_p$ |
| | C_p | Fe_p | Al_p | C_p | Fe_p | Al_p | |
| Fracción granulométrica | | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 953,4 | 1591,2 | 239,0 | 583,7 | 2313,6 | 268,6 | 397,5 |
| Significación | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Profundidad | | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 69,3 | 0,02 | 0,23 | 56,5 | 0,55 | 1,00 | 35,9 |
| Significación | 0,000 | 0,881 | 0,643 | 0,000 | 0,472 | 0,336 | 0,000 |
| Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 81,8 | 11,5 | 87,5 | 81,7 | 5,81 | 47,2 | 0,23 |
| Significación | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,017 | 0,000 | 0,795 |
| Fracción x Profundidad | | | | | | | |
| $F_{gl=1}$ | 42,2 | 0,004 | 0,110 | 91,0 | 26,3 | 10,4 | 4,59 |
| Significación | 0,000 | 0,953 | 0,746 | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,053 |
| Fracción x Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 244,8 | 6,64 | 17,3 | 180,0 | 42,4 | 2,29 | 14,3 |
| Significación | 0,000 | 0,011 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,144 | 0,001 |
| Profundidad x Parcela | | | | | | | |
| $F_{gl=2}$ | 2,29 | 0,97 | 0,65 | 0,09 | 1,76 | 2,29 | 0,12 |
| Significación | 0,144 | 0,406 | 0,537 | 0,916 | 0,213 | 0,144 | 0,887 |

Tabla VI.21. Contenidos de carbono, hierro y aluminio extraíbles con pirofosfato sódico y grado de complejación del carbono (media \pm e.t.) de las distintas fracciones granulométricas de los suelos de la zona montana húmeda

| | | 0-15 cm | | 15-30 cm | |
|--|----|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | | Arenas | Arcillas y limos | Arenas | Arcillas y limos |
| Contenido relativo de carbono pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Frailes | b | 12,1 \pm 1,96 | 35,6 \pm 5,59 | 6,91 \pm 0,72 | 16,7 \pm 1,39 |
| Pinalito | a | 17,7 \pm 0,66 | 18,9 \pm 0,65 | 6,22 \pm 0,68 | 8,70 \pm 1,03 |
| Siete Lomas | c | 50,3 \pm 5,49 | 50,7 \pm 4,24 | 23,0 \pm 0,44 | 40,3 \pm 1,64 |
| Contenido relativo de hierro pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Frailes | a | 0,32 \pm 0,11 | 4,56 \pm 0,17 | 0,31 \pm 0,07 | 3,78 \pm 0,18 |
| Pinalito | a | 0,39 \pm 0,14 | 3,21 \pm 0,20 | 0,27 \pm 0,12 | 2,94 \pm 0,20 |
| Siete Lomas | b | 0,94 \pm 0,31 | 4,69 \pm 0,53 | 1,07 \pm 0,31 | 5,80 \pm 0,82 |
| Contenido relativo de aluminio pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Frailes | b | 1,11 \pm 0,10 | 8,72 \pm 1,60 | 1,07 \pm 0,10 | 7,84 \pm 1,22 |
| Pinalito | a | 1,06 \pm 0,19 | 6,07 \pm 0,37 | 0,68 \pm 0,08 | 4,54 \pm 0,60 |
| Siete Lomas | c | 6,42 \pm 0,55 | 16,5 \pm 0,90 | 5,53 \pm 0,45 | 18,6 \pm 2,10 |
| Aportación al total de carbono pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Frailes | b | 5,10 \pm 0,83 | 20,6 \pm 3,23 | 2,04 \pm 0,21 | 11,8 \pm 0,98 |
| Pinalito | a | 5,88 \pm 0,22 | 10,6 \pm 0,43 | 1,61 \pm 0,18 | 6,46 \pm 0,77 |
| Siete Lomas | c | 32,1 \pm 3,51 | 18,3 \pm 1,53 | 10,7 \pm 0,20 | 21,6 \pm 0,88 |
| Aportación al total de hierro pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Frailes | ab | 0,13 \pm 0,05 | 2,64 \pm 0,10 | 0,09 \pm 0,02 | 2,66 \pm 0,13 |
| Pinalito | a | 0,13 \pm 0,04 | 2,15 \pm 0,14 | 0,07 \pm 0,03 | 2,18 \pm 0,15 |
| Siete Lomas | b | 0,60 \pm 0,20 | 1,69 \pm 0,19 | 0,49 \pm 0,14 | 3,10 \pm 0,44 |
| Aportación al total de aluminio pirofosfato (g kg^{-1}) | | | | | |
| Los Frailes | b | 0,47 \pm 0,04 | 5,04 \pm 0,92 | 0,31 \pm 0,03 | 5,53 \pm 0,86 |
| Pinalito | a | 0,35 \pm 0,06 | 4,06 \pm 0,25 | 0,18 \pm 0,02 | 3,37 \pm 0,44 |
| Siete Lomas | c | 4,10 \pm 0,35 | 5,96 \pm 0,32 | 2,57 \pm 0,21 | 9,96 \pm 1,12 |
| $(\text{Fe}_p + \text{Al}_p) / \text{C}_p$ | | | | | |
| Los Frailes | a | 0,13 \pm 0,02 | 0,38 \pm 0,03 | 0,21 \pm 0,03 | 0,72 \pm 0,15 |
| Pinalito | a | 0,08 \pm 0,02 | 0,49 \pm 0,02 | 0,15 \pm 0,02 | 0,87 \pm 0,03 |
| Siete Lomas | a | 0,15 \pm 0,01 | 0,43 \pm 0,06 | 0,29 \pm 0,03 | 0,61 \pm 0,08 |

Los valores seguidos con letras diferentes señalan diferencias significativas entre las parcelas (ANOVA de medidas repetidas/Test DMS, $p \leq 0,05$)

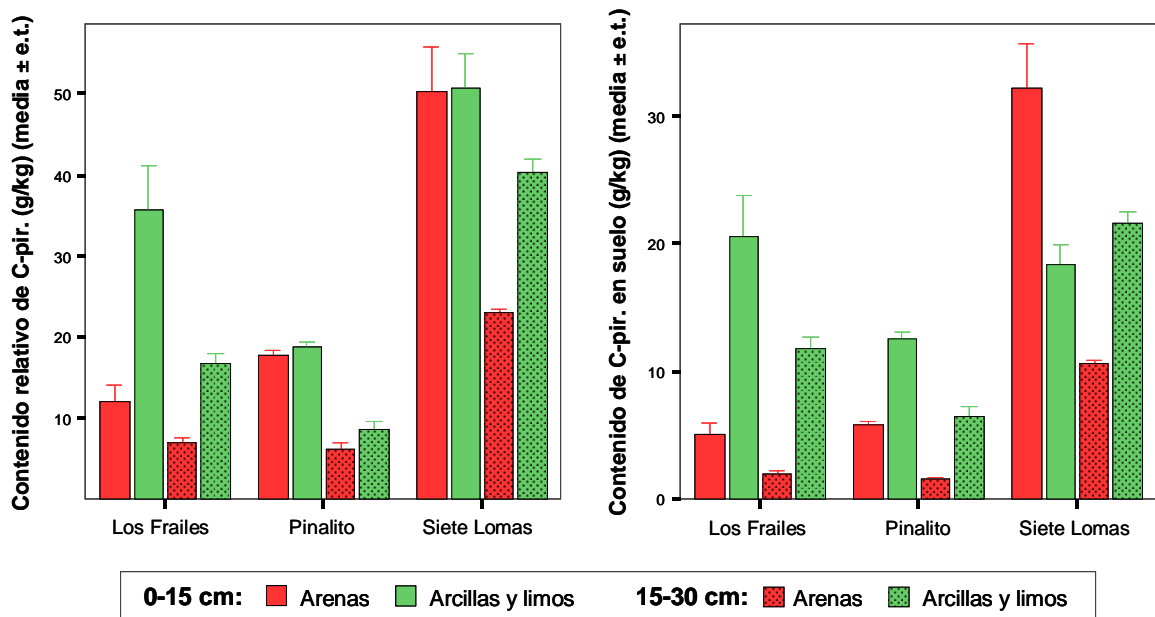


Figura VI.35. Contenido relativo y aportación al total de carbono extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca

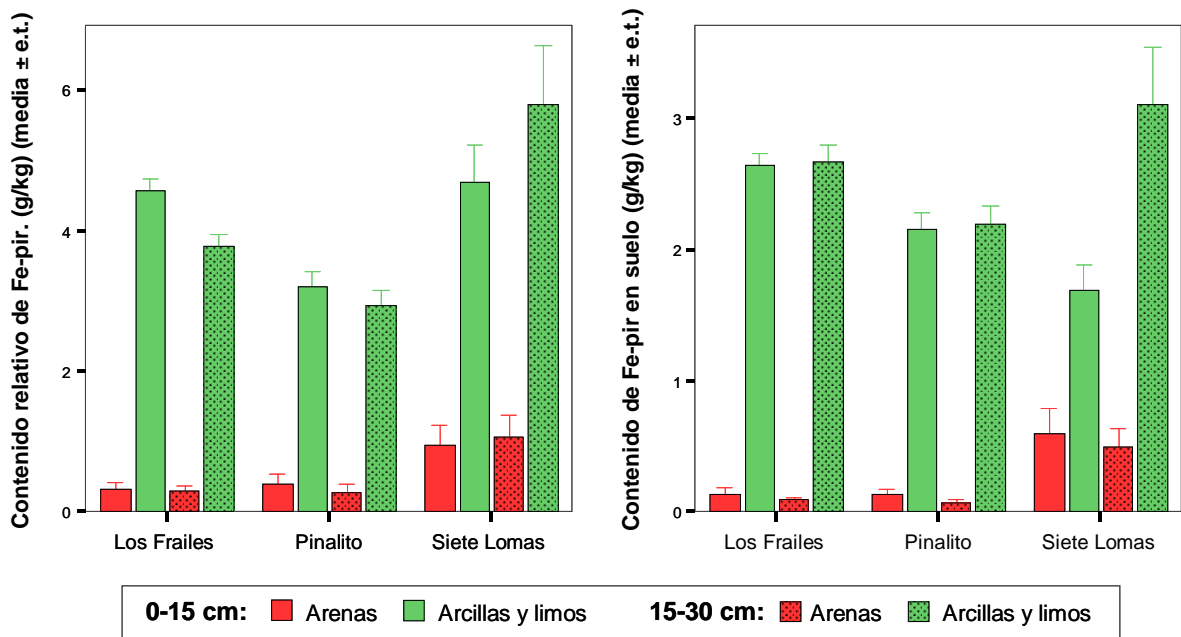


Figura VI.36. Contenido relativo y aportación al total de hierro extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca

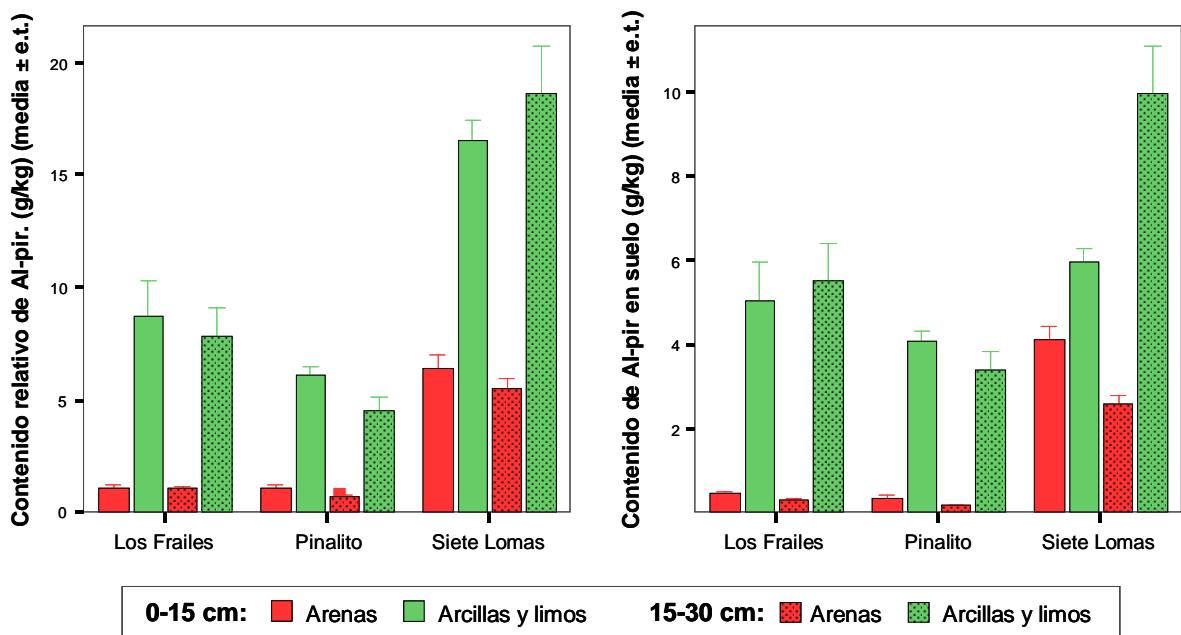


Figura VI.37. Contenido relativo y aportación al total de aluminio extraíble con pirofosfato sódico de las distintas fracciones granulométricas en los suelos de la zona montana seca

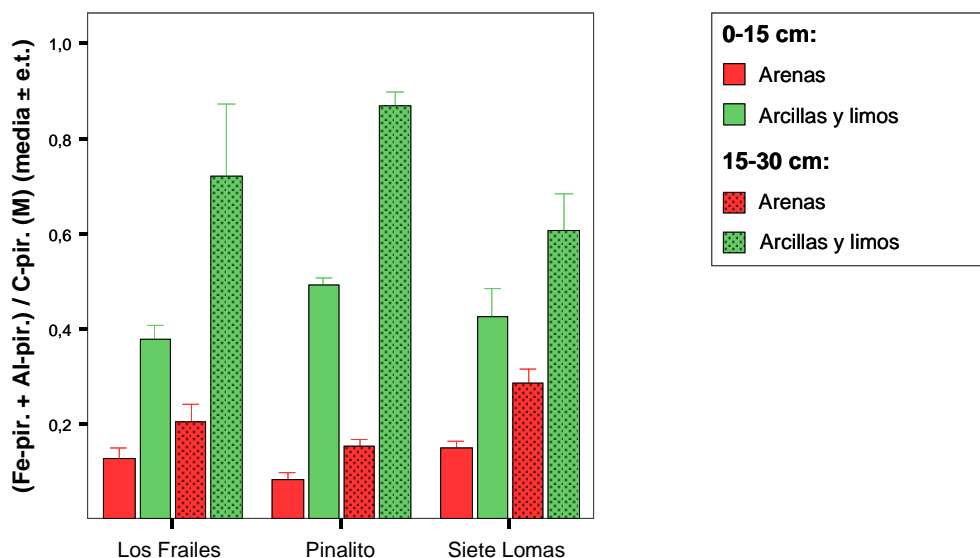


Figura VI.38. Grado de complejación del carbono en los suelos de la zona montana seca

VI.4. DISCUSIÓN

Según numerosos autores, la materia orgánica ligada a los macroagregados del suelo suele ser más abundante que la de los agregados más pequeños, debido a la presencia de compuestos orgánicos que actúan como agentes cementantes dentro de los macroagregados (Elliot, 1986; Cambardella & Elliot, 1993; Puget *et al.*, 1995; Jastrow *et al.*, 1996; Six *et al.*, 2000a; von Lützow *et al.*, 2007). Nuestros resultados muestran una cierta homogeneidad en el carbono y nitrógeno contenidos en las fracciones de agregados consideradas: megaagregados (>2 mm), macroagregados (0,5-2 mm) y microagregados (<0,5 mm). Este resultado es congruente con los obtenidos en algunos suelos tropicales donde predominan los agentes cementantes minerales como los óxidos (Oades & Waters, 1991; Six *et al.*, 2000b,c; Zotarelli *et al.*, 2005; von Lützow *et al.*, 2007), y que pueden extrapolarse a los minerales con ordenación de corto alcance que caracterizan a los Andosoles y suelos ándicos. En todos los casos, se encontró que la aportación de cada fracción al total del suelo refleja sobre todo la distribución de tamaño de los agregados.

Sin embargo, la abundancia relativa de las formas de carbono lábiles y complejadas de los suelos ándicos estudiados tienden a cumplir la llamada *jerarquía de formación de agregados* descrita por Tisdall & Oades (1982). Según este modelo, los agregados del suelo se forman a partir de la asociación de partículas primarias libres (<20 μm), que se aglomeran para formar microagregados (20-250 μm) por medio de agentes cementantes persistentes (materia orgánica humificada, complejos de cationes metálicos polivalentes, etc.). A su vez, estos microagregados se unen y forman macroagregados (>250 μm) a través de agentes cementantes transitorios (hifas fúngicas, raíces, polisacáridos derivados de plantas y microorganismos, etc.). Debido a este orden jerárquico en la formación de agregados y a los diferentes agentes cementantes que los mantienen unidos, los agregados mayores resultan más ricos en carbono lábil (Elliot, 1986; Aoyama *et al.*, 1999; Buyanovsky *et al.*, 1994; von Lützow *et al.*, 2007) y, por esa misma razón, proporcionalmente más pobres en carbono complejado.

La principal excepción a este comportamiento la encontramos en el suelo de *Los Aceviños*, donde la mayor riqueza en carbono y metales complejados se da precisamente en los agregados de mayor tamaño. Este patrón sugiere un predominio, entre los agregados de menor tamaño, de microagregados caracterizados por un carbono proporcionalmente más lábil, originados a partir de macroagregados. Según Oades (1984), los microagregados pueden formarse en el interior de los macroagregados, tras la muerte de las raíces e hifas de hongos que posibilitaron la cohesión del macroagregado. La descomposición libera sustancias mucilaginosas, formando incrustados de arcillas (Six *et al.*, 2000a) y, dando así lugar a la formación de microagregados secundarios, unidos por agentes cementantes transitorios, frente a los cementantes persistentes propios de los microagregados primarios. La razón del enriquecimiento relativo del suelo de *Los Aceviños* en estos microagregados secundarios, se relaciona probablemente con su posición geomorfológica en un fondo de cuenca, donde recibe los materiales erosionados de otros suelos. Rodríguez Rodríguez *et al.* (2004a) describen cómo el impacto directo de las gotas de lluvia produce el desmembramiento de los agregados de los Andosoles, posibilitando la movilización por la erosión del carbono hasta ese momento encapsulado en el interior de los agregados.

Respecto a los contenidos de las distintas fracciones granulométricas, la fracción arena tiende a mostrar una relación C/N mayor, indicativa de una materia orgánica menos transformada, mientras que la fracción fina (arcillas + limos) concentra las formas de carbono más evolucionadas, complejadas con la materia mineral.

La mayoría de autores coinciden en afirmar que la mayor parte de la materia orgánica del suelo se encuentra mayoritariamente asociada a la fracción fina del suelo (Hinds & Lowe, 1980; Anderson *et al.*, 1981; Schnitzer & Ivarson, 1982; Christensen, 1992), siendo los contenidos de carbono y nitrógeno en la fracción fina del orden de 1,2 a 4 veces más altos que en el suelo bruto (Catroux & Schnitzer, 1987). Según Christensen (2001) en los horizontes superficiales de los suelos de zonas templadas, las fracciones más ricas en carbono son las ligadas a las partículas de arcilla (50-75%) y de limo (20-40%), mientras que en la fracción arena no supera generalmente el 10%.

Nuestros resultados tienden a mostrar una mayor riqueza de carbono y de nitrógeno de la fracción arena en los primeros 15 cm del suelo, y de la fracción fina entre 15 y 30 cm. Este resultado refleja una fragmentación progresiva de la materia orgánica con la profundidad, a menudo acompañada de su transformación química, evidente en un enriquecimiento relativo en nitrógeno de la fracción fina, y su empobrecimiento en la fracción gruesa. Las principales excepciones a este comportamiento se observan en los suelos de *Los Aceviños*, *Ravelo* y *Los Frailes*, los más húmedos y umbríos de sus respectivos ecosistemas (ver Sección V.3.1), donde una descomposición más rápida (Sección V.5.3.1) permite que la mayor parte del carbono procedente de los restos vegetales se incorpore a la fracción fina ya desde los primeros cm del suelo.

VII. ESPECIACIÓN QUÍMICA DEL CARBONO DEL SUELO

VII.1. INTRODUCCIÓN

En este Capítulo abordamos un estudio en detalle de la materia orgánica de los suelos estudiados, basado en el fraccionamiento clásico en ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H). Además se realizó una caracterización estructural de las fracciones húmicas de muestras seleccionadas, mediante técnicas espectroscópicas de absorción infrarroja (FT-IR) y de resonancia magnética nuclear (RMN), y de degradación pirolítica acoplada a cromatografía de gases y espectrometría de masas (Py/GC/MS).

A pesar del largo tiempo transcurrido desde que Achard (1786) aisló por primera vez sustancias húmicas de turba, resulta de gran complejidad conocer su estructura y reactividad química. Esto se debe a que constituyen una mezcla de sustancias complejas más que un material purificado, su formación no tiene lugar mediante un único proceso enzimático y su composición química depende en gran medida del lugar de origen. De acuerdo a Schulten *et al.* (1991), las sustancias húmicas están típicamente constituidas por una red flexible de enlaces C-C, formada mayoritariamente por anillos aromáticos unidos por largas cadenas alquílicas y con huecos en los que se enlazarían compuestos orgánicos (carbohidratos, proteínas, lípidos) e inorgánicos.

Según la terminología clásica, las sustancias húmicas se clasifican en tres fracciones distintas: **ácidos húmicos**, **ácidos fúlvicos** y **huminas**. Los ácidos húmicos comprenden el material que puede extraerse del suelo por soluciones alcalinas y que precipita en medio ácido, mientras que los ácidos fúlvicos constituyen la fracción que se mantiene en solución tras la acidificación. La fracción humina es aquella que no puede solubilizarse en soluciones alcalinas, y que permanece en el residuo sobrante de suelo tras la extracción de las dos anteriores (Stevenson, 1982; Stevenson & Olsen, 1989; Porta *et al.*, 2003).

Desde un punto de vista estructural, los **ácidos húmicos** son macromoléculas complejas de unidades aromáticas unidas a distintos constituyentes orgánicos, tales como aminoácidos, péptidos, aminoazúcares, ácidos alifáticos, etc. Presentan un mayor grado de aromaticidad y una menor oxidación que los ácidos fúlvicos. Algunos autores los subdividen a su vez en *ácidos húmicos pardos*, *ácidos húmicos grises* y *ácidos himatomelánicos*, según su grado de complejidad y solubilidad en distintos extractantes. Por su parte, los **ácidos fúlvicos** son de menor tamaño y están menos polimerizados que los húmicos, contienen menos núcleos aromáticos y un mayor número de cadenas alifáticas y de grupos carboxílicos (Porta *et al.*, 2003). Por último, la **fracción humina** es de naturaleza heterogénea y se encuentra fuertemente unida física y químicamente a los componentes minerales del suelo (Duchaufour & Jacquin, 1975; Duchaufour, 1984; Almendros & González-Vila, 1987). Esta fracción se subdivide en dos tipos: *humina heredada*, formada por restos alterados de lignina de pequeño tamaño y fuertemente retenidos en los microagregados del suelo; y *humina neoformada*, generada por procesos de polimerización a partir de otros precursores solubles (Duchaufour & Jacquin, 1975; Almendros & González-Vila, 1987). La humina neoformada consta a su vez de dos fracciones: *humina de insolubilización extraíble*, formada por ácidos húmicos y fúlvicos unidos irreversiblemente a las arcillas, óxidos de hierro y aluminio, y solubilizados tras la separación de la fracción mineral (Merlet, 1971); y *humina de insolubilización no-extraíble*, que permanece en el residuo de suelo tras la extracción de la anterior.

VII.2. DETERMINACIÓN DEL CARBONO CONTENIDO EN LAS SUSTANCIAS HÚMICAS: ÁCIDOS HÚMICOS, ÁCIDOS FÚLVICOS Y HUMINAS

Se presentan aquí los resultados obtenidos de la extracción fraccionada de las sustancias húmicas de los horizontes de los perfiles de suelo estudiados, y de la determinación del contenido de carbono de cada una de ellas, junto un análisis elemental del carbono total del suelo. La especiación resultante considera las siguientes fracciones: **carbono orgánico oxidable total**¹, que abarca una mezcla heterogénea de sustancias tanto húmicas como no-húmicas (ver Sección V.4.1); fracciones húmicas de carbono: **ácidos húmicos** (AH), **ácidos fúlvicos** (AF) y **huminas**; **carbono orgánico no-oxidable** (*black carbon*), cuya presencia se dedujo de la diferencia entre el carbono total y la suma de los contenidos de carbono orgánico oxidable y carbono inorgánico; y **carbono inorgánico**¹, en forma de carbonatos.

| Perfil | Profundidad (cm) | C-total | C-orgánico | C-inorgánico | C-AH | C-AF | C-huminas |
|---|------------------|---------|------------|--------------|------|------|-----------|
| TABAIBAL DE RASCA - Solonchak hipersálico / Haplosalid típico | | | | | | | |
| AB _w | 0-22 | 3,95 | 3,20 | 0,60 | 0,17 | 0,36 | 2,64 |
| B _w | 22-35 | 3,94 | 2,46 | 2,02 | 0,00 | 1,82 | 0,64 |
| B _w C | 35-80 | 1,81 | 1,11 | 1,07 | 0,00 | 0,96 | 0,15 |
| MATORRAL DE RASCA - Solonetz háplico / Natrargid ácuico | | | | | | | |
| B _w A | 0-22 | 3,47 | 1,94 | 1,65 | 0,04 | 0,23 | 1,10 |
| B _t | 22-55 | 1,47 | 0,85 | 1,84 | 0,00 | 0,55 | 0,30 |
| B _t C | 55-70 | 1,19 | 0,80 | 0,97 | 0,00 | 0,58 | 0,21 |
| LOS ACEVIÑOS - Andosol aluándico eutrosfílico fúlvico / Fulvudand éútrico páchico | | | | | | | |
| A ₁ | 5-25 | 128,2 | 139,0 | - | 55,3 | 46,5 | 15,0 |
| A ₂ | 25-70 | 46,8 | 43,5 | - | 15,0 | 14,3 | 11,6 |
| B _w | 70->120 | 22,1 | 19,0 | - | 4,55 | 8,60 | 7,24 |
| LOS NORUEGOS - Andosol silándico eutrosfílico fúlvico / Fulvudand páchico | | | | | | | |
| A | 0-50 | 87,2 | 90,5 | - | 29,8 | 33,8 | 18,0 |
| B _w | 50->120 | 15,2 | 15,7 | - | 2,60 | 8,63 | 7,72 |
| PALOS PELADOS - Andosol aluándico eutrosfílico fúlvico / Fulvudand últico | | | | | | | |
| AB _w | 0-50 | 126,7 | 128,0 | - | 5,95 | 86,7 | 36,1 |
| B _t | 50-100 | 61,1 | 52,0 | - | 3,92 | 36,8 | 17,4 |
| PAJARITOS - Luvisol léptico / Haploxeralf lítico ándico | | | | | | | |
| AB _w | 2-22 | 139,3 | 144,1 | - | 10,0 | 88,1 | 32,3 |
| B _t | 22-35 | 71,1 | 76,3 | - | 3,78 | 45,4 | 22,2 |
| RAVELO - Andosol silándico fúlvico / Fulvudand éútrico páchico | | | | | | | |
| A ₁ | 5/10-23/28 | 113,2 | 113,5 | - | 48,4 | 39,9 | 23,6 |
| A ₂ | 23/28-69/74 | 62,9 | 64,1 | - | 23,4 | 25,7 | 13,8 |
| B _w | 69/74->120 | 24,1 | 19,2 | - | 4,59 | 7,51 | 9,56 |
| LOS FRAILES - Phaeozem lúvico / Argiustoll ándico | | | | | | | |
| A | 0-35 | 44,1 | 40,5 | - | 10,4 | 9,94 | 12,9 |
| B _t | 35-100 | 6,52 | 5,60 | - | 0,13 | 2,17 | 3,88 |
| PINALITO - Cambisol léptico / Distroxerept lítico | | | | | | | |
| A ₁ | 0-5 | 69,0 | 59,4 | - | 16,7 | 11,7 | 27,7 |
| A ₂ | 5-10 | 45,4 | 41,7 | - | 12,5 | 9,59 | 14,3 |
| B _w C | 10-45 | 9,23 | 9,41 | - | 1,65 | 2,48 | 4,76 |
| SIETE LOMAS - Andosol silándico fúlvico endoléptico / Haploxerand álfico húmico | | | | | | | |
| A | 0-15 | 121,6 | 123,8 | - | 48,1 | 37,1 | 19,2 |
| B _t C | 15-50/100 | 49,8 | 47,5 | - | 9,53 | 19,8 | 14,5 |

¹ Los contenidos de carbono orgánico oxidable total y carbono inorgánico se analizaron previamente para la caracterización de los suelos (Capítulo III).

Los resultados obtenidos de la especiación del carbono del suelo se muestran en la Tabla VII.1 y las Figuras VII.1-VII.10.

VII.2.1. Zona costera

VII.2.1.1. Perfil *Tabaibal de Rasca*

En este suelo, el carbono orgánico es mucho más abundante que el inorgánico en el horizonte superficial (AB_w), mientras que en los horizontes profundos de alteración (B_w y B_wC) los contenidos de ambos son muy similares (Tabla VII.1 y Figura VII.1). El horizonte AB_w es rico en huminas y muy pobre en ácidos húmicos y fúlvicos. En los horizontes B_w y B_wC predominan los ácidos fúlvicos (74 y 86% respectivamente), desaparecen los ácidos húmicos, y se reduce notablemente el contenido de huminas respecto al horizonte superficial. La rarificación de las huminas observada en los horizontes profundos es congruente con un carácter predominantemente heredado de las huminas en el horizonte superficial (ver más adelante Sección VII.4).

II.2.1.2. Perfil *Matorral de Rasca*

El perfil *Matorral de Rasca* se caracteriza por presentar contenidos similares de carbono orgánico e inorgánico en los horizontes superficial (B_wA) y profundo (B_tC), mientras que en el horizonte intermedio B_t el carbono inorgánico es más abundante (Tabla VII.1 y Figura VII.2). En cuanto a los contenidos de sustancias húmicas, este suelo es muy similar al anterior (*Tabaibal de Rasca*): la humina es la fracción húmica dominante en el horizonte B_wA , siguiéndole los ácidos fúlvicos y húmicos, mientras que en los horizontes profundos (B_t y B_tC) la materia orgánica se encuentra principalmente en forma de ácidos fúlvicos, desapareciendo los ácidos húmicos y descendiendo el contenido de huminas.

VII.2.2. Zona montana húmeda

VII.2.2.1. Perfil *Los Aceviños*

El contenido de sustancias húmicas de este suelo es extraordinariamente elevado. El horizonte A_1 es el más rico en carbono, con una contribución especialmente elevada de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, y un aporte mucho menor en forma de huminas (Tabla VII.1 y Figura VII.3). En el horizonte A_2 el contenido de huminas es solo ligeramente menor al de ácidos húmicos y fúlvicos, mientras que en el horizonte B_w se observa un descenso en el contenido de ácidos húmicos. Los contenidos observados de carbono total y carbono orgánico oxidable no permiten deducir la presencia de formas piromórficas no-oxidables. Sin embargo, no podemos descartar su existencia en los horizontes profundos del suelo, que concordaría con

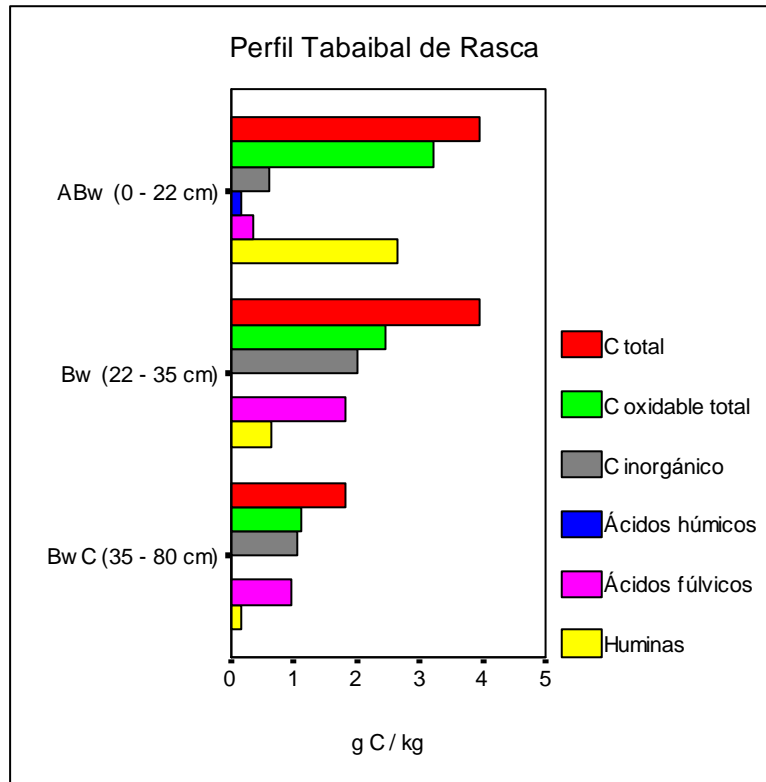


Figura VII.1. Especiación del carbono en el perfil *Tabaibal de Rasca* (Solonchak hipersálico / Haplosalid típico)

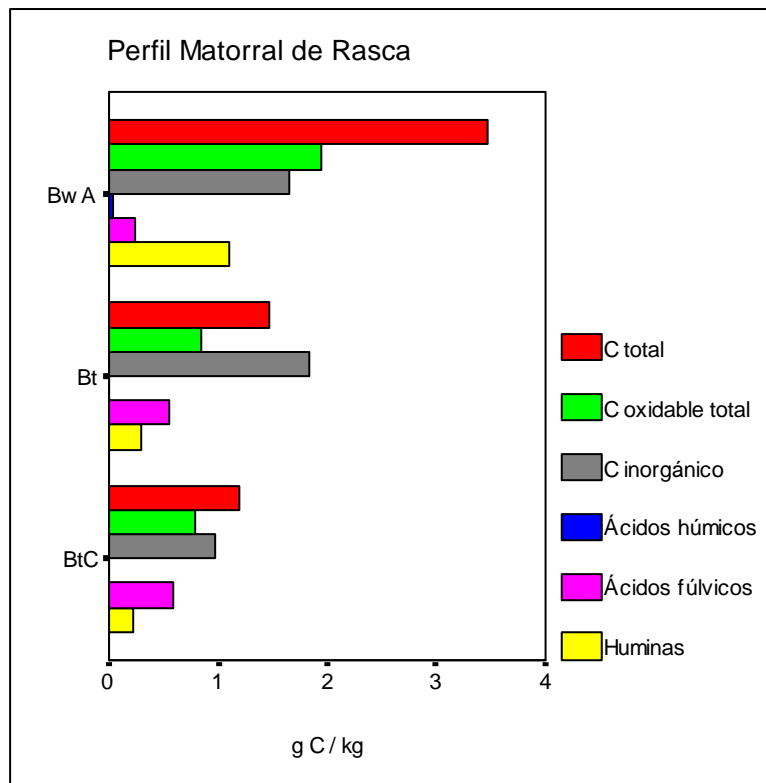


Figura VII.2. Especiación del carbono en el perfil *Matorral de Rasca* (Solonetz háplico / Natrargid ácuico)

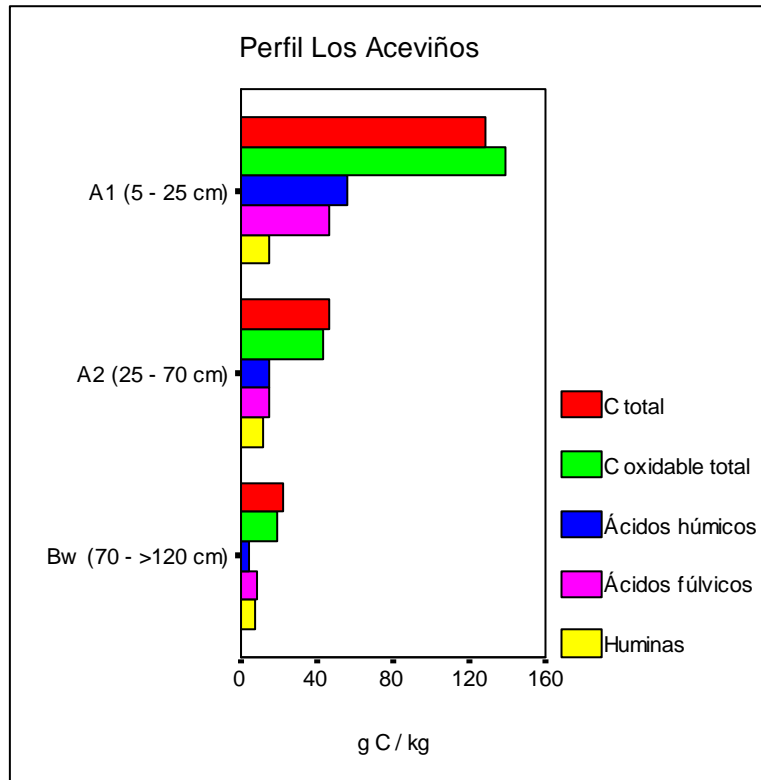


Figura VII.3. Especiación del carbono en el perfil *Los Aceviños* (Andosol aluándico eutrosfílico fúlvico / Fulvudand éútrico páchico)

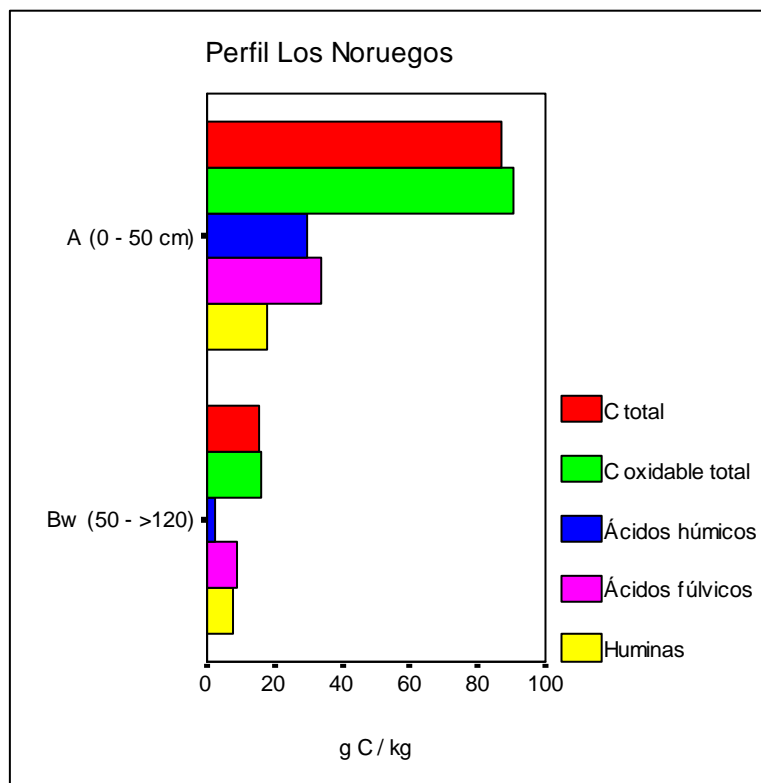


Figura VII.4. Especiación del carbono en el perfil *Los Noruegos* (Andosol silándico eutrosfílico fúlvico / Fulvudand páchico)

la observación en este suelo de un reservorio de carbono enterrado, probablemente relacionado con la actividad tradicional de carboneo (Sección IV.3.1).

VII.2.2.2. Perfil *Los Noruegos*

El horizonte A de este suelo es muy rico en ácidos húmicos y ácidos fúlvicos y algo menos en huminas (Tabla VII.1 y Figura VII.4). El horizonte B_w es mucho más pobre en carbono, con una menor abundancia de ácidos húmicos respecto a ácidos fúlvicos y huminas.

Los valores de carbono total y carbono orgánico oxidable no sugieren la existencia de formas de carbono no-oxidables (*black carbon*).

VII.2.2.3. Perfil *Palos Pelados*

Este perfil presenta un contenido inusualmente bajo de ácidos húmicos, pese a ser el más rico en materia orgánica de todos los suelos estudiados (Tabla VII.1 y Figura VII.5). En el horizonte AB_w, la contribución de los ácidos húmicos al total de carbono orgánico oxidable es de menos de un 5%, en contraste con el 47% observado en *Los Aceviños* y el 37% en *Los Noruegos*. Predominan los ácidos fúlvicos y, en menor grado, la materia orgánica en forma de huminas. Estos resultados coinciden con los elevados contenidos de fracciones de carbono lábil como el carbono soluble en agua caliente (Sección V.4.5) y disuelto en agua (Sección V.4.6), sugiriendo que gran parte de los compuestos químicos así extraídos pueden ser parte de los ácidos fúlvicos del suelo o precursores de los mismos.

En el horizonte B_t el contenido de carbono total es claramente superior al de carbono oxidable, evidenciando la presencia de formas piromórficas (*black carbon*), que coincide con la observación de fragmentos de carbón en el campo (ver Sección III.6, Tabla III.17) y con el aumento en el contenido de carbono detectado entre 50 y 80 cm de profundidad (Sección IV.3.3).

VII.2.2.4. Perfil *Pajaritos*

Este suelo presenta características muy similares al de *Palos Pelados*, con un contenido muy bajo de ácidos húmicos, comparado con los ácidos fúlvicos y también, aunque en menor medida, con la fracción humina (Tabla VII.1 y Figura VII.6). Los contenidos de carbono total y carbono oxidable son muy similares, descartando la existencia de *black carbon*.

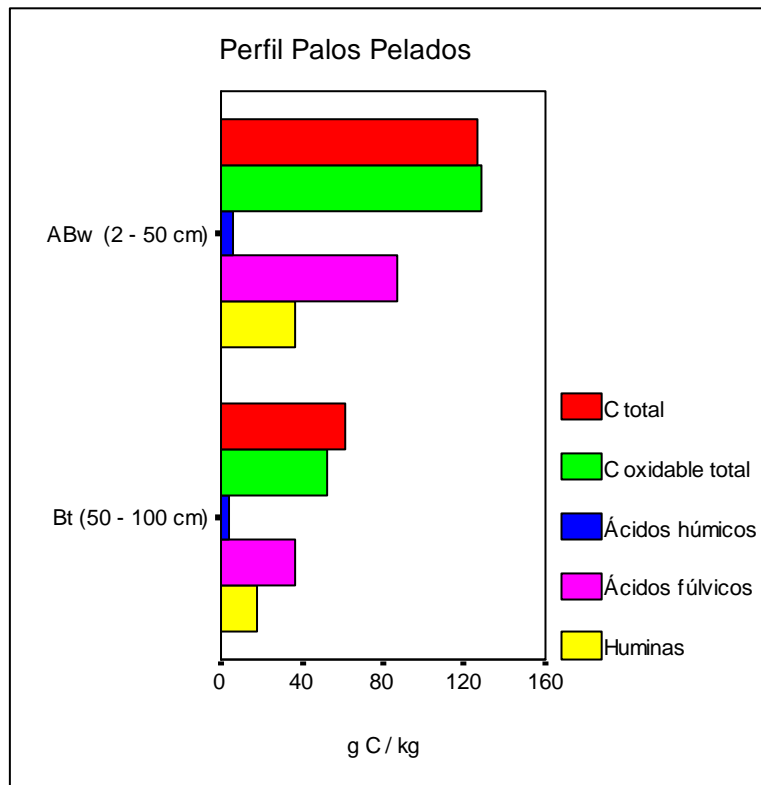


Figura VII.5. Especiación del carbono en el perfil *Palos Pelados* (Andosol aluándico eutrofélico fúlvico / Fulvudand últico)

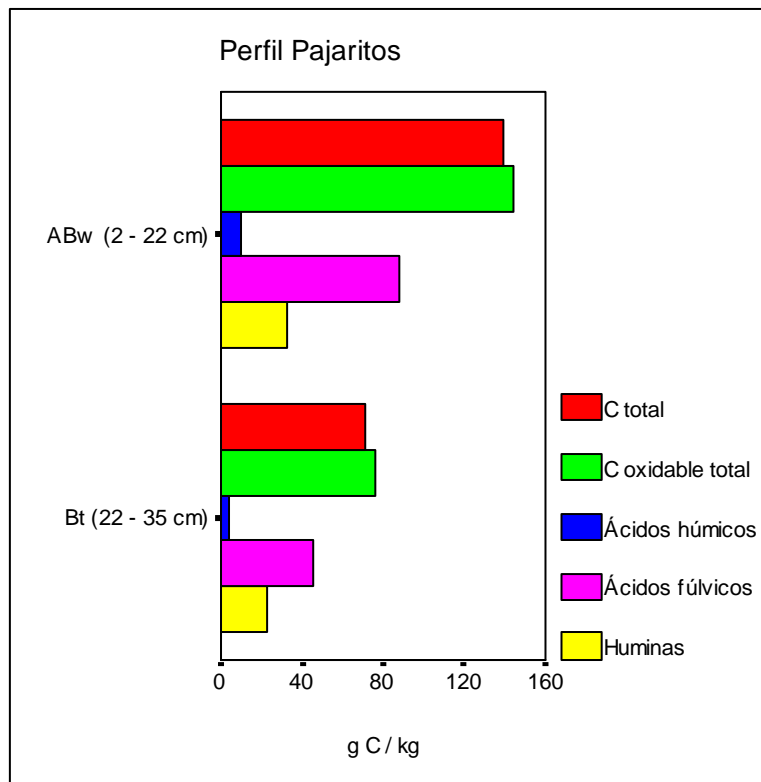


Figura VII. 6. Especiación del carbono en el perfil *Pajaritos* (Luvisol léptico / Haploxeralf lítico ándico)

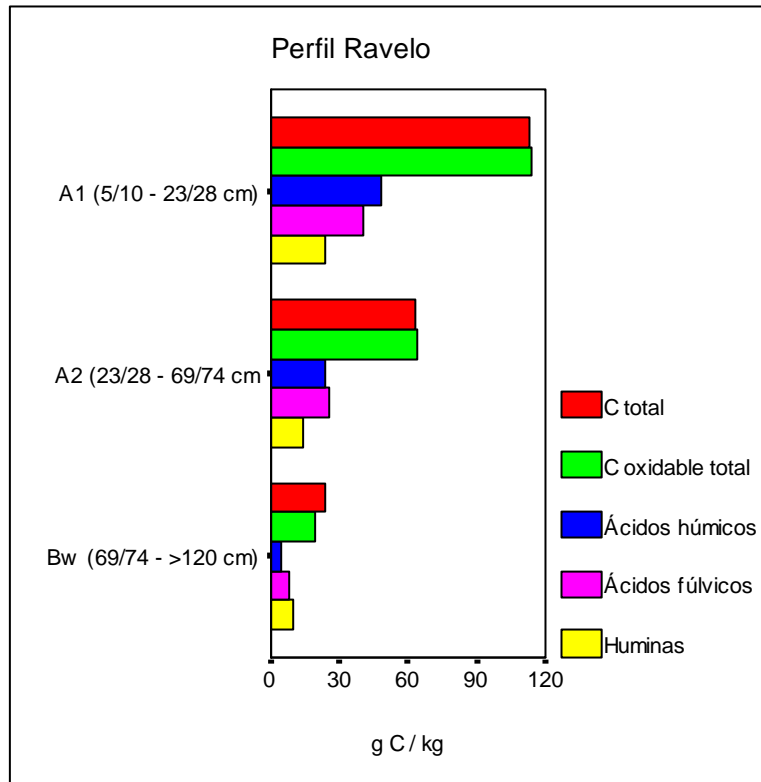


Figura VII.7. Especiación del carbono en el perfil *Ravelo* (Andosol silándico fúlvico / Fulvudand éutrico páchico)

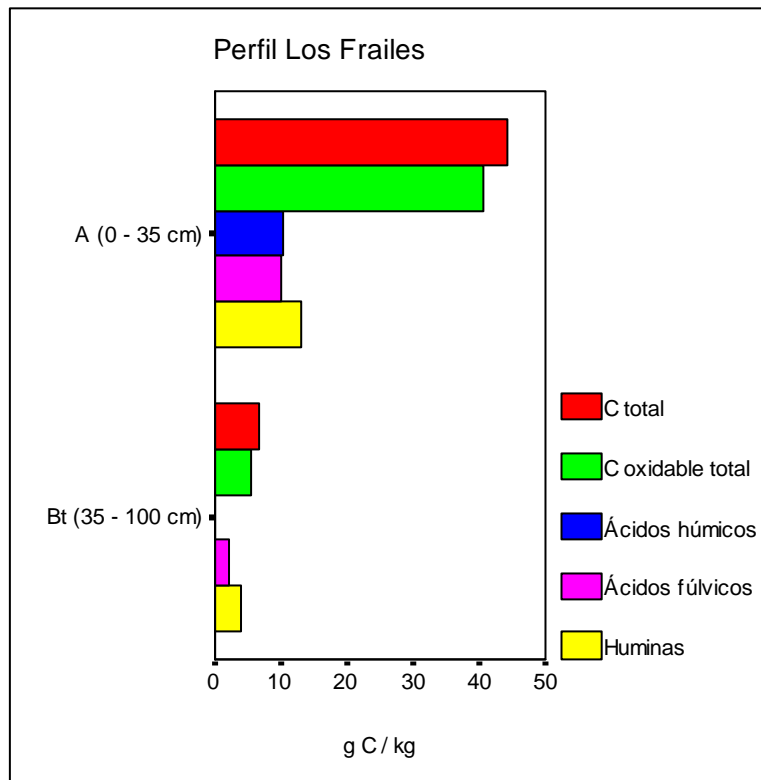


Figura VII.8. Especiación del carbono en el perfil *Los Frailes* (Phaeozem lúvico / Argiustoll ándico)

VII.2.2.5. Perfil *Ravelo*

Los horizontes A₁ y A₂ de este suelo presentan un elevado contenido de carbono en forma de ácidos húmicos, sólo ligeramente más bajo de ácidos fúlvicos, y mucho menor de huminas (Tabla VII.1 y Figura VII.7). Por su parte el horizonte B_w es rico en huminas y pobre en ácidos fúlvicos y, sobre todo, húmicos.

En el horizonte B_w se observa un mayor contenido de carbono total que de carbono oxidable, atribuible a la presencia de formas piromórficas no oxidables, y congruente con la observación de fragmentos de carbón en el suelo (Sección III.8, Tabla III.25) y de un aumento en el contenido de carbono entre 80 y 100 cm de profundidad (Sección IV.3.5). Este resultado debe relacionarse con las antiguas actividades de carboneo, ya que los incendios forestales son poco frecuentes en el monteverde y no parecen haber afectado al área de Ravelo desde su conversión a plantación de coníferas a mediados del siglo XX.

VII.2.3. Zona montana seca

VII.2.3.1. Perfil *Los Frailes*

El horizonte orgánico (A) de este perfil muestra cantidades similares de ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, mientras que el horizonte B_t es muy rico en huminas y pobre en ácidos húmicos (Tabla VII.1 y Figura VII.8).

La diferencia observada entre el carbono total y el carbono oxidable refleja la riqueza del suelo en formas piromórficas no-oxidables, que suponen en torno a un 8% del total de carbono en el horizonte A y un 14% en el horizonte B_t. Este *black carbon* parece tener su origen en la carbonización de la biomasa: aunque el área no ha sido afectada por incendios al menos en los últimos 25-30 años, el fuego es un elemento habitual en los pinares canarios, y su incidencia en *Los Frailes* es evidente en la presencia de trozos de carbón en el horizonte superficial del suelo (Sección III.9, Tabla III.29).

VII.2.3.2. Perfil *Pinalito*

La contribución de las distintas fracciones húmicas es similar a la observada en el perfil *Los Frailes*: los horizontes superficiales A₁ y A₂ presentan proporciones semejantes de huminas, ácidos húmicos y fúlvicos, mientras que en el horizonte B_wC desciende la proporción relativa de ácidos húmicos y se incrementa la de huminas (Tabla VII.1 y Figura VII.9).

La diferencia observada en el contenido de carbono total y carbono oxidable refleja la presencia de *black carbon* en los horizontes A₁ y A₂, visiblemente afectados por el fuego (sobre todo el horizonte A₁) en épocas recientes (<20 años) (ver Sección III.10, Tabla III.33).

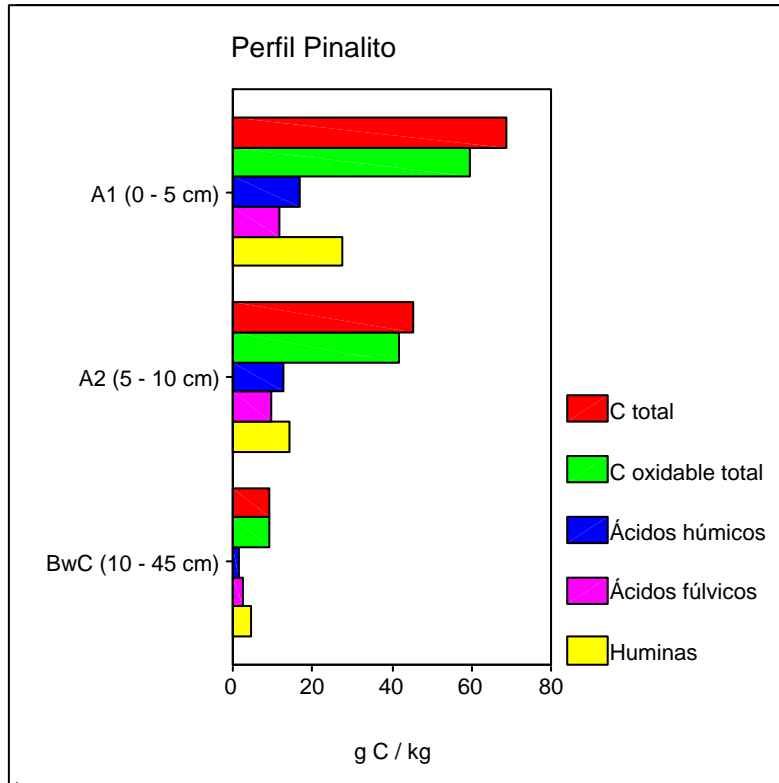


Figura VII.9. Especiación del carbono en el perfil *Pinalito* (Cambisol léptico / Distroxerept lítico)

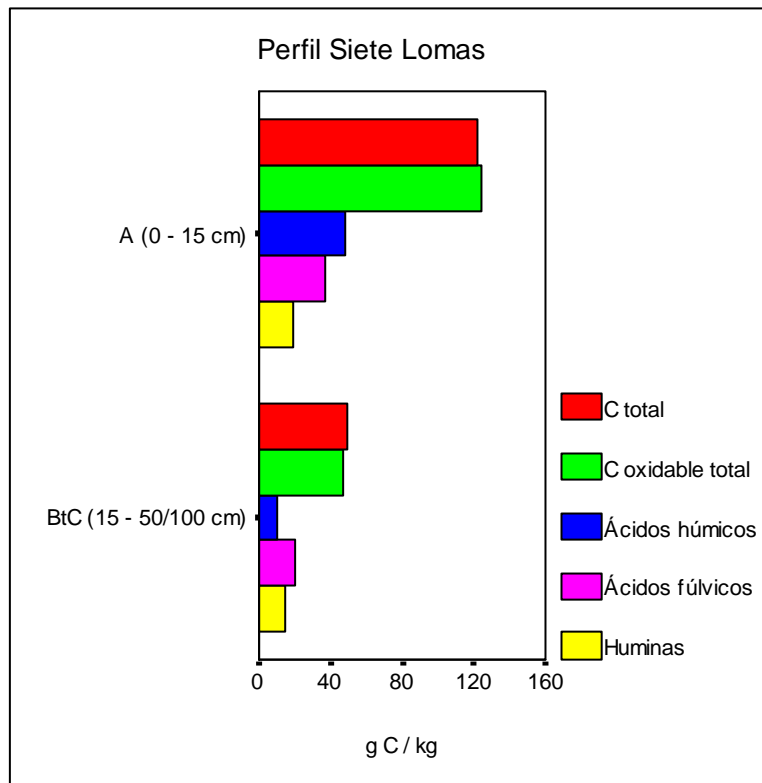


Figura VII.10. Especiación del carbono en el perfil *Siete Lomas* (Andosol silándico fúlvico endoléptico / Haploxerand álfico húmico)

VII.2.3.3. Perfil *Siete Lomas*

La proporción relativa de las distintas sustancias húmicas en este suelo sigue el mismo patrón que el observado en los Andosoles de *Los Aceviños*, *Los Noruegos* y *Ravelo*: una aportación de ácidos húmicos y fúlvicos superior a la de huminas en el horizonte superficial; y un empobrecimiento relativo en ácidos húmicos junto con un enriquecimiento en huminas en el horizonte B_tC (Tabla VII.1 y Figura VII.10). El contenido de carbono total y carbono orgánico oxidable son muy semejantes, coincidiendo con la ausencia de restos de carbón en el suelo (Sección III.11, Tabla III.37).

VII.3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA: APLICACIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS AVANZADAS

Realizamos una caracterización estructural de las fracciones húmicas de los horizontes superficiales de cuatro perfiles de suelo, seleccionados en función de la homogeneidad en su material geológico de origen, su localización en diferentes ecosistemas zonales siguiendo un gradiente climático altitudinal, y un distinto grado de evolución geoquímica. Los suelos escogidos fueron: Perfil *Tabaibal de Rasca* (zona costera), Perfil *Ravelo* (zona montana húmeda), Perfil *Los Frailes* (zona montana seca) y Perfil *Siete Lomas* (zona montana seca). Todos ellos se localizan en la isla de Tenerife sobre coladas basálticas pleistocenas, y conforman una secuencia de menor a mayor carácter ándico, desde un suelo 'control' casi mineral (*Tabaibal de Rasca* - Solonchak hipersálico / Haplosalid típico), pasando por un suelo con un contenido mayor en materia orgánica y presencia de vidrio volcánico (*Los Frailes* - Phaeozem lúvico / Argiustoll ándico), un Andosol de espesor limitado y con cierto grado de degradación (*Siete Lomas* - Andosol silándico fúlvico endoléptico / Haploxerand álfico húmico), y, por último, un Andosol plenamente desarrollado (*Ravelo* - Andosol silándico fúlvico / Fulvudand étrico páchico).

VII.3.1. Espectroscopia de infrarrojos con transformada de Fourier (FT-IR)

La aplicación de la espectroscopía de infrarrojos a las sustancias húmicas de los suelos permite identificar los distintos grupos funcionales que las conforman, y deducir así la presencia de restos de proteínas, ligninas e hidratos de carbono, además de material inorgánico (Stevenson, 1982). Es además una técnica semicuantitativa, debido a la diferente absorptividad molar que presentan los distintos grupos funcionales a una concentración similar (Gressel *et al.*, 1995; McColl & Gressel, 1995).

Los espectros de las sustancias húmicas y de las macromoléculas en general suelen presentar un perfil constituido por pocas bandas, relativamente anchas, resultado del solapamiento de las distintas bandas de absorción y de los enlaces de hidrógeno, que disminuyen la frecuencia de absorción (MacCarthy & Rice, 1985; Gerasimowicz *et al.*, 1986; Polvillo, 2003). Por este motivo, aplicamos un procedimiento matemático consistente en la sustracción digital del espectro original, de un múltiplo positivo de su segunda derivada

(Rosenfeld & Kak, 1982; Almendros & Sanz, 1992). Este procedimiento aumenta la resolución de los espectros, facilitando el reconocimiento de los patrones de bandas características.

Los resultados obtenidos de los espectros originales y mejorados de las muestras de suelo total (libre de lípidos), ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, se representan en la Figura VII.11. En la Tabla VII.2 se muestra un resumen de la amplia literatura (Farmer & Morrison, 1960; Dupuis & Jambu, 1969; Fengel & Wegener, 1984; MacCarthy & Rice, 1985; Yonebayashi & Hattori, 1989; Senesi *et al.*, 2003) sobre las asignaciones de bandas de absorción infrarroja en los espectros de las sustancias húmicas.

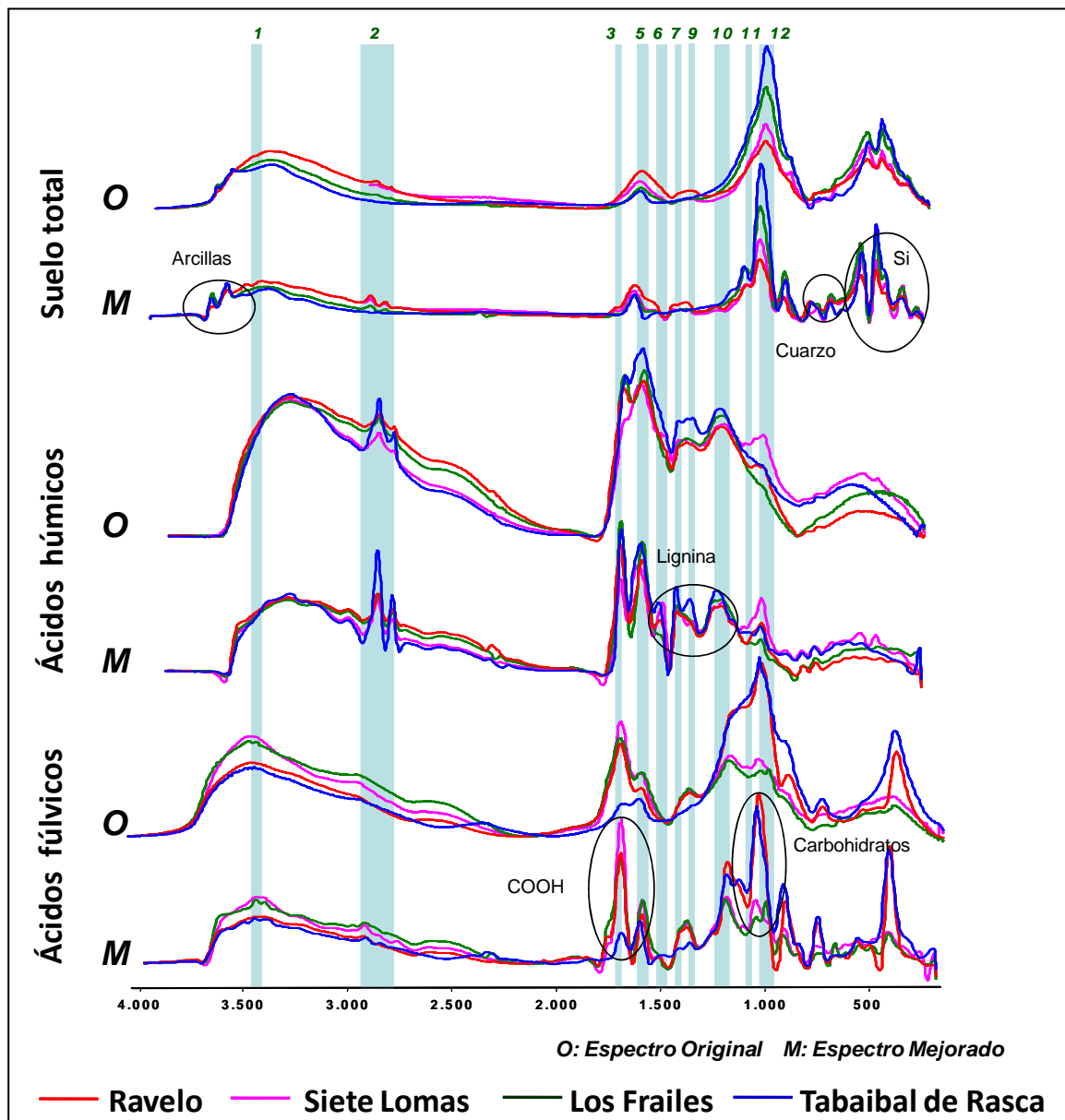


Figura VII.11. Espectros de infrarrojos del suelo total, ácidos húmicos y fúlvicos

| Ref. | Frecuencia (cm ⁻¹) | Asignación |
|------|--------------------------------|--|
| 1 | 3400 | OH (tensión) |
| 2 | 2950-2840 | C-H alifático (tensión) |
| 3 | 1725-1710 | C=O de COOH, aldehídos y cetonas (tensión) |
| 4 | 1660-1630 | C=O de amidas (amida I) (tensión) |
| 5 | 1620-1600 | C=O aromático (tensión), tensión simétrica de COO ⁻ |
| 6 | 1540-1510 | N-H (deformación) y C=N (amida II) (1540) (tensión), C=C aromático (1510) (tensión) |
| 7 | 1460-1440 | C-H alifática (deformación <i>Scissoring</i>) |
| 8 | 1420 | C=N de amidas (amida III) (tensión) |
| 9 | 1400-1380 | O-H (deformación) y C-O (tensión) de OH fenólicos, tensión antisimétrica de COO ⁻ |
| 10 | 1260-1200 | C-O (tensión) y OH (deformación) de COOH. C-O (tensión) de fenoles. Lignina |
| 11 | 1170-1120 | C-OH (tensión) de O-H alifático |
| 12 | 1080-1010 | C-O (tensión) de polisacáridos, Si-O de impurezas |
| 13 | 975-775 | Torsión fuera de plano de C-H aromático |

i) SUELO TOTAL

En los espectros correspondientes al suelo total dominan las señales procedentes de minerales, observándose con mayor claridad en los espectros mejorados, que resaltan los picos estrechos y de menor intensidad respecto a los anchos y de mayor intensidad.

En el espectro se observan señales procedentes de la tensión de OH en arcillas (caolinitas y haloisitas ~3710-3620 y de esmectitas ~3680-3620). También se detecta una señal muy clara de silicatos en torno a ~1020 cm⁻¹, que coincide con la banda de mayor intensidad de carbohidratos, así como con grupos metoxilos procedentes de la lignina. A una frecuencia comprendida entre ~805-785 se detectan señales procedentes del cuarzo, más patentes en el suelo de *Tabaibal de Rasca* y menos en los suelos de mayor carácter ándico (*Ravelo*, *Siete Lomas* y *Los Frailes*), enmascaradas por las abundantes sustancias amorfas. En el espectro también se ven otras señales del complejo mineral: 545-525 Si-O-Metal (Al, Fe); 475 Si-O; 435 Si^{IV}-OH.

ii) ÁCIDOS HÚMICOS

En la fracción de ácidos húmicos se observan diferencias en el patrón de bandas que pueden proceder de restos de lignina. En el espectro se observa una banda muy clara a una frecuencia de 2920 cm⁻¹, atribuible a carbono alifático, mucho más definida en los ácidos húmicos de *Tabaibal de Rasca*. La intensidad de esta banda suele ser más elevada en las muestras ricas en ligninas, y más baja cuanto mayor es la aromaticidad de los ácidos húmicos (van der Marel & Beutelspacher, 1976). Se reconocen otras bandas típicas de lignina a 1510, 1460 1420, 1270, 1230 y 1130 cm⁻¹, que se corresponden en su mayoría con metoxifenoles y que predominan de nuevo en *Tabaibal de Rasca*, indicando una humificación directa de la materia orgánica, que se acumula con poca transformación, a través de la alteración oxidativa de las biomacromoléculas.

En todos los casos aparecen bien resueltas la señal de carbono aromático (~1620-1600 cm^{-1}), con similar intensidad en todas las muestras, y la de carbono carbonílico (~1725-1710 cm^{-1}), más débil en los ácidos húmicos de *Siete Lomas*.

A diferencia de los espectros de suelo total, se detecta bien la señal procedente de carbohidratos (~1010 cm^{-1}) una vez eliminada la fracción mineral del suelo, si bien se solapa con la señal procedente de grupos metoxilos de lignina. El pico más intenso se observa en los ácidos húmicos de *Siete Lomas*, intermedio en *Ravelo* y en *Tabaibal de Rasca* (rico en lignina), y más bajo en *Los Frailes*.

iii) ÁCIDOS FÚLVICOS

Los ácidos fúlvicos de los suelos con características ándicas presentan un alto grado de oxidación (~1725-1710 cm^{-1}). Por su parte, la fracción fúlvica de *Tabaibal de Rasca* muestra una baja oxidación y una fuerte señal de carbohidratos (~1010 cm^{-1}), lo que vuelve a indicar la presencia de materia orgánica poco transformada.

VII.3.2. Espectroscopía de resonancia magnética nuclear de ^{13}C (RMN ^{13}C)

La espectroscopía de RMN de ^{13}C constituye una herramienta muy útil para caracterizar estructuralmente las sustancias húmicas del suelo, suministrando información tanto cualitativa, al permitir la identificación de los distintos tipos de carbono a partir de regiones espectrales características, como cuantitativa, puesto que el área de cada región se corresponde con el contenido de un tipo específico de carbono (González-Vila *et al.*, 1976, 1983; Wilson, 1987). De modo general se consideran cuatro regiones principales:

- **Región alquímica** (0-46 ppm), que incluye señales de hidrocarburos saturados, ácidos grasos, ceras, resinas, cutinas, suberinas, sustituyentes alquílicos en compuestos aromáticos, grupos alquilos en aminoácidos, etc.
- **Región O-alquímica** (46-110), que se corresponde sobre todo con la señal procedente de carbohidratos.
- **Región aromática** (110-160), donde aparecen picos procedentes de la lignina, del tipo guaiacil y siringil, y de compuestos aromáticos característicos de sustancias húmicas muy maduras, incluso de formas piromórficas no-oxidables (*black carbon*).
- **Región carbonílica** (160-220 ppm), en la que se diferencian señales de ácidos carboxílicos, ésteres, amidas, aldehídos y cetonas.

Las asignaciones de las distintas bandas de los espectros de RMN C^{13} de las sustancias húmicas (Preston & Ripmeester, 1982; Hatcher *et al.*, 1983; Preston, 1996; Skjemsyad *et al.*, 1997) se detallan en la Tabla VII.3. Los espectros de RMN del suelo total, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos de los suelos estudiados se muestran en las Figuras VII.12-14.

| Tabla VII.3. Asignaciones estructurales para los principales desplazamientos químicos en los espectros de RMN de ^{13}C | |
|--|---|
| Desplazamientos químicos (ppm) | Asignaciones |
| 190-220 | Carbonos de quinonas, cetonas, aldehídos |
| 190-160 | Carbonos de carbonilos, carboxilos, ésteres y amidas (péptidos) |
| 160-140 | Carbonos aromáticos sustituidos por grupos funcionales con O ó N, enlaces C-aromático-C sustituido a C-alifático excepto CH_3 , subunidades fenólicas y aril-éter de la lignina y taninos |
| 140-110 | C aromático sustituido por grupos alquílicos y formando puentes C-H; carbonos internos de C aromático condensado, C aromático no sustituido; carbonos en C aromático-H orto a C aromático-O estructuras aromáticas (lignina, taninos) y olefinas |
| 110-90 | Carbonos anoméricos de polisacáridos |
| 90-60 | Carbonos alifáticos sustituidos; C sustituidos por OH, O y N en polisacáridos y aminoácidos; éteres alifáticos distintos a grupos metoxi o epoxi |
| 60-45 | Carbonos de los sustituyentes de la lignina, aminoácidos y aminoazúcares |
| 45-0 | Carbonos alifáticos no sustituidos, C en CH_2 en hidrocarburos de cadena larga saturados; C en CH y CH_2 unidos a anillos aromáticos; C en CH_2 en grupos alicíclicos y etilo, C alifático de péptidos, C en CH_3 |

Los resultados obtenidos en el suelo total muestran espectros mejor resueltos en los suelos más ricos en materia orgánica, especialmente en *Ravelo*. La baja definición del espectro de RMN de ^{13}C observada en *Tabaibal de Rasca* se debe tanto al bajo contenido de materia orgánica (ver Sección IV.2.1), como a la presencia de elementos minerales paramagnéticos, particularmente Fe^{3+} (Anderson, 1995; Hemminga & Buurman, 1997; Smernick & Oades, 2002). El procedimiento de extracción y purificación de las fracciones húmicas elimina la interferencia de los elementos paramagnéticos (Hemminga & Buurman, 1997). Los espectros de los ácidos húmicos y fúlvicos están bien resueltos y, especialmente la fracción de ácidos fúlvicos, aparece claramente funcionalizada, con un predominio de grupos carboxilo y de amidas.

Los resultados obtenidos en los tres tipos de muestras (suelo total, AH y AF) en la zona del espectro entre 0-46 ppm correspondiente a la región alquílica, muestran un pico en torno a 33 ppm característico de carbonos polimetilénicos $(\text{CH}_2)_n$, aunque esta señal puede solaparse con los carbonos de grupos amidas.

En el suelo total y en los AH se detectan señales a 56, 73 y 103 ppm, correspondientes a la región O-alquílica (46-110 ppm). En los AF apenas se detecta la correspondiente a 56 ppm, salvo en *Tabaibal de Rasca*; este pico de 56 ppm se puede corresponder tanto con el carbono de grupos metoxilos de ligninas como de compuestos nitrogenados como amidas, puesto que ambas señales pueden solaparse. La señal centrada en 73 ppm se corresponde con los C_2 - C_5 y C_6 (alcoholes secundarios y primarios) de los carbohidratos (celulosa y hemicelulosa). También puede darse solapamiento en la señal a 103 ppm, que puede proceder del carbono anomérico (C_1) de los carbohidratos y/o de los carbonos cuaternarios (C_{4a}) de taninos condensados. Esta abundancia de taninos condensados es un rasgo típico de la vegetación de zonas áridas (Preston, 1996).

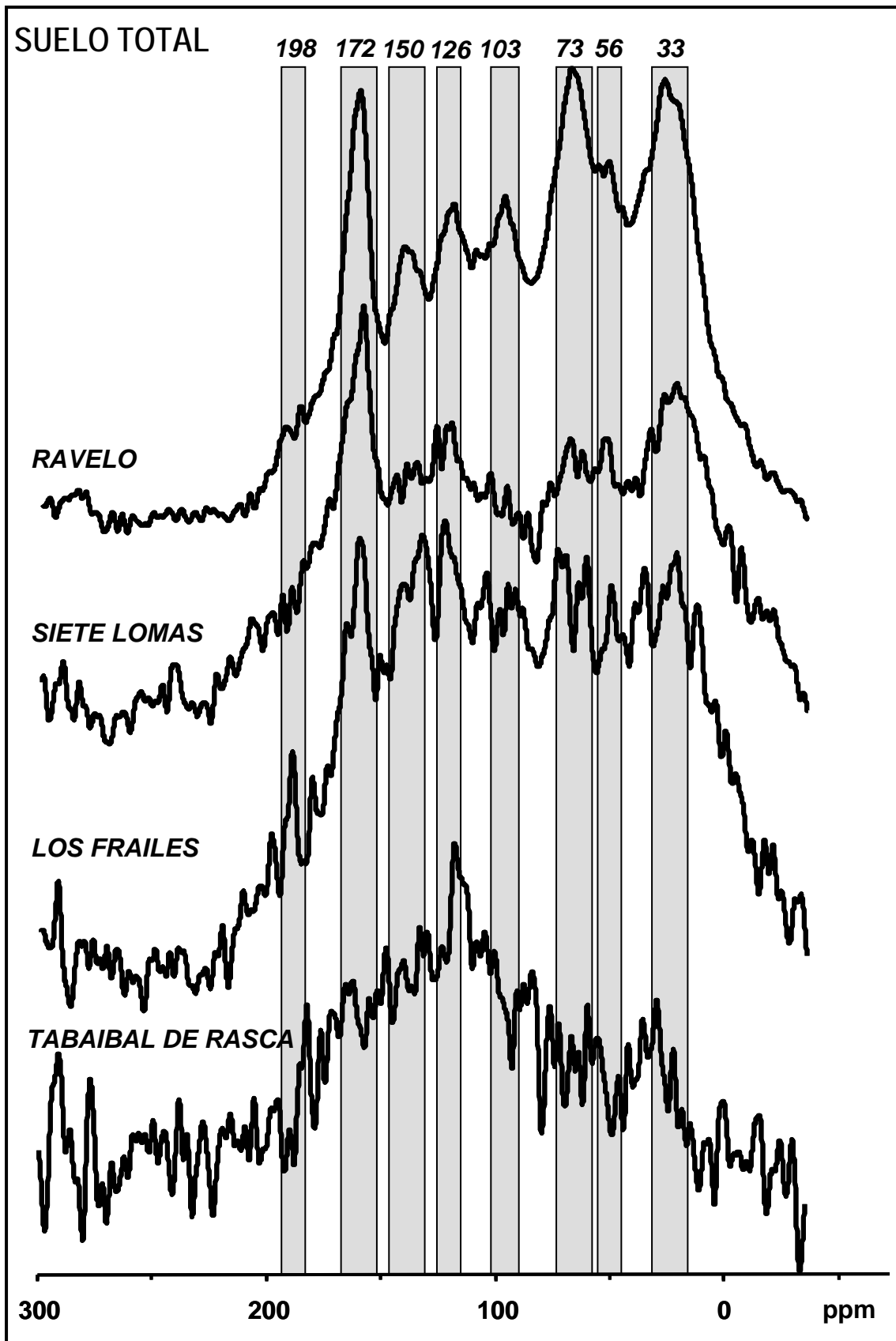
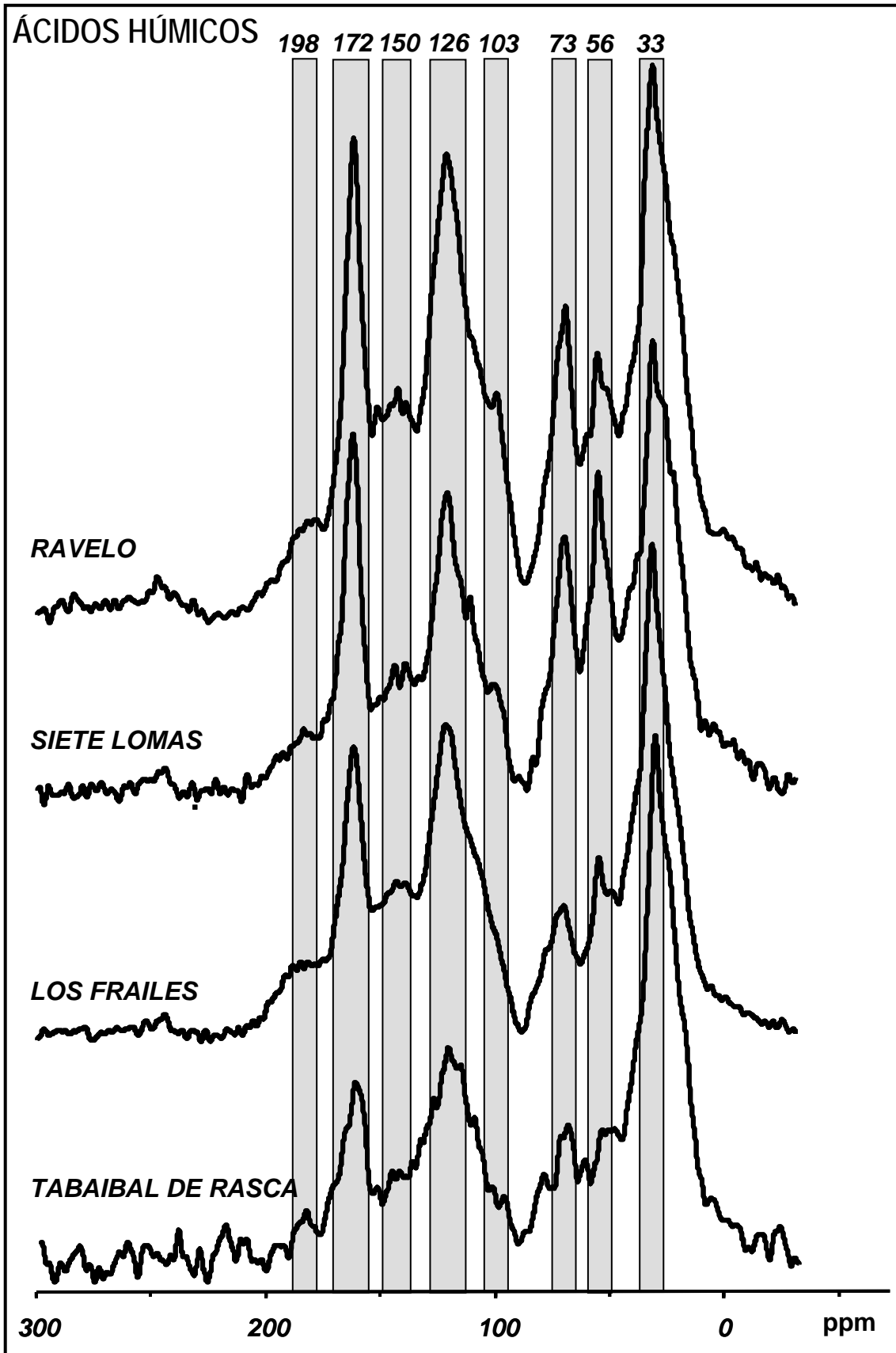


Figura VII.12. Espectro de RMN de ^{13}C del suelo total

Figura VII.13. Espectro de RMN de ^{13}C de ácidos húmicos

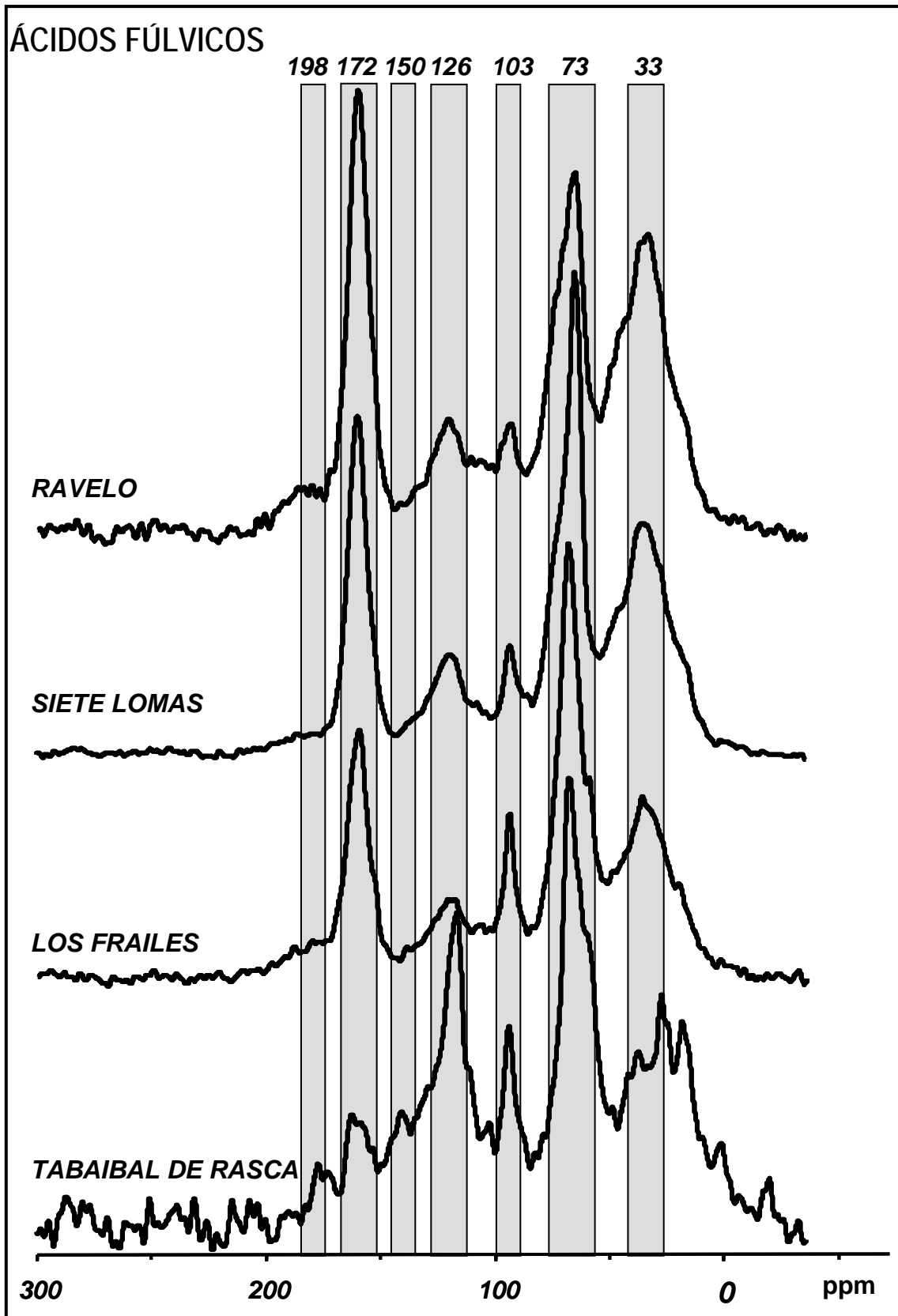


Figura VII.14. Espectro de RMN de ^{13}C de ácidos fúlvicos

Por su parte, la región aromática (110-160 ppm) presenta señales intensas en las muestras de ácidos húmicos de los cuatro suelos, destacando los picos en torno a 126 ppm, típicos de sustancias húmicas muy maduras o incluso de *black carbon*; y en torno a 150 ppm, de metoxifenoles derivados de la lignina.

Finalmente, la región carbonílica (160-220 ppm) muestra una señal dominante centrada en 172, procedente fundamentalmente de ácidos carboxílicos y amidas, bien definida en las muestras de suelo total, AH y AF; y otra mucho menos marcada en torno a 198, típica de aldehídos y cetonas, que sólo está bien resuelta en el suelo de *Tabaibal de Rasca*.

A fin de analizar la importancia relativa de las principales regiones de los espectros de RMN C^{13} en las muestras de suelo total, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, se calcularon los valores de integración (%) de las regiones alquílica (Al), O-alquílica (O-Al), aromática (Ar) y carbonílica (C=O), así como las relaciones entre sus áreas: Al/Ar, O-Al/Al, O-Al/Ar y C=O/Ar. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas VII.4-6 y las Figuras VII.15-17.

i) SUELO TOTAL

En los suelos de *Ravelo*, *Siete Lomas* y *Los Frailes* la región espectral predominante es la O-alquílica, procedente de carbohidratos, sobre todo en *Ravelo* (34,9 %) y *Los Frailes* (31,4 %) donde los aportes de hojarasca son mayores (ver Sección V.1.1, Tabla V.1). En *Tabaibal de Rasca* cobra protagonismo la región aromática junto con la O-alquílica, con una contribución mucho más baja de la alquílica. Esto se traduce en relaciones Al/Ar y O-Al/Ar considerablemente bajas (Tabla VII.4 y Figura VII.15), indicando una mayor acumulación de formas alteradas de lignina y una degradación lenta de los carbohidratos.

Las proporciones Al/Ar y O-Al/Ar tienden a aumentar a medida que progresa el carácter ándico del suelo, alcanzando los valores más altos en el suelo de *Ravelo*. En lo que respecta a la relación C=O/Ar, destaca su elevado valor en los suelos de *Siete Lomas*, que podría atribuirse a una especial abundancia de amidas, que son la forma de exportación preferente de nitrógeno de los nódulos de *Rhizobium* presentes en las raíces de las leguminosas de esta localidad (ver Secciones IV.4.3 y V.4.4).

| | Ravelo | Siete Lomas | Los Frailes | Tabaibal de Rasca |
|---------------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------------|
| Región alquílica (0-46 ppm) | 24,4 | 23,7 | 22,0 | 15,5 |
| Región O-alquílica (46-110 ppm) | 34,9 | 28,2 | 31,4 | 28,1 |
| Región aromática (110-160 ppm) | 22,0 | 23,6 | 26,2 | 31,5 |
| Región carbonílica (160-220 ppm) | 18,6 | 24,5 | 20,4 | 24,8 |
| C alquílico / C aromático (Al/Ar) | 1,11 | 1,00 | 0,84 | 0,49 |
| C O-alquílico / C alquílico (O-Al/Al) | 1,43 | 1,19 | 1,43 | 1,81 |
| C O-alquílico / C aromático (O-Al/Ar) | 1,59 | 1,19 | 1,20 | 0,89 |
| C carbonilos / C aromático (C=O/Ar) | 0,84 | 1,04 | 0,78 | 0,79 |

Por último, la relación O-Al/Al es considerada una indicadora de la biodegradación de los carbohidratos (Baldock *et al.*, 1997), de modo que una proporción O-Al/Al baja se relaciona con una biodegradación preferente de los mismos con respecto a los lípidos, así como con la condensación de estructuras alquílicas para incorporarse de forma estable a las sustancias

húmicas (Almendros & Dorado, 1999). En nuestro caso, el valor más bajo se observa en *Siete Lomas*, cuya hojarasca se descompone más rápidamente que la esclerófila de *Ravelo* y *Los Frailes*, donde es muy similar. El valor máximo se observa en *Tabaibal de Rasca*, indicando una descomposición lenta con una biodegradación preferente de la fracción lipídica y una acumulación selectiva de los carbohidratos.

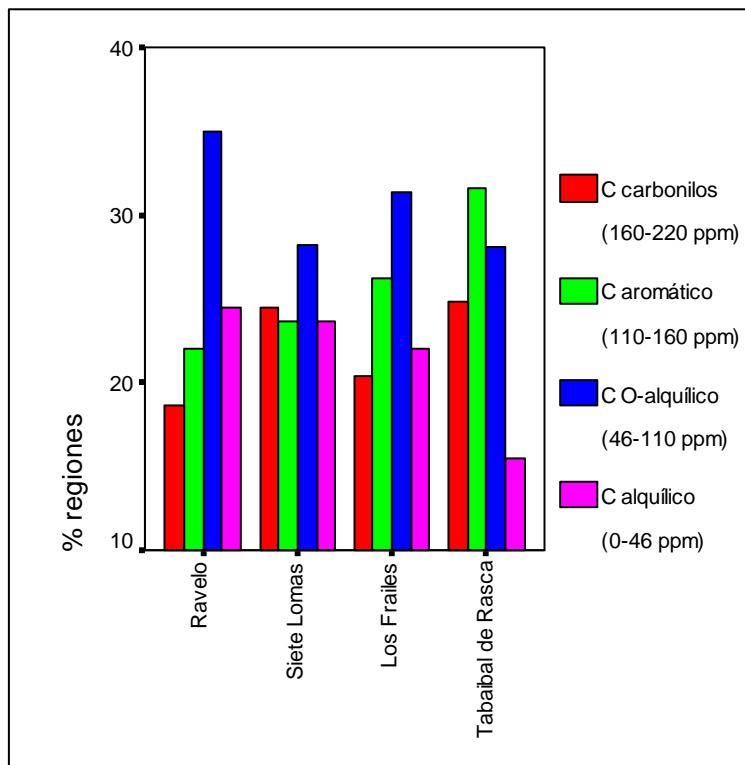


Figura VII.15. Regiones principales de los espectros de RMN de ¹³C en las muestras de suelo total

ii) ÁCIDOS HÚMICOS

Los ácidos húmicos de los cuatro suelos estudiados muestran un predominio de las regiones alquílicas y aromáticas, de carácter más recalcitrante, y una menor contribución de las regiones carbonílica y O-alquílica (Tabla VII.5 y Figura VII.16).

| | Ravelo | Siete Lomas | Los Frailes | Tabaibal de Rasca |
|---------------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------------|
| Región alquílica (0-46 ppm) | 28,5 | 31,8 | 32,2 | 39,2 |
| Región O-alquílica (46-110 ppm) | 23,3 | 25,3 | 18,3 | 20,9 |
| Región aromática (110-160 ppm) | 29,5 | 24,4 | 29,8 | 24,3 |
| Región carbonílica (160-220 ppm) | 18,8 | 18,5 | 19,7 | 15,6 |
| C alquílico / C aromático (Al/Ar) | 0,97 | 1,30 | 1,08 | 1,61 |
| C O-alquílico / C alquílico (O-Al/Al) | 0,82 | 0,80 | 0,57 | 0,53 |
| C O-alquílico / C aromático (O-Al/Ar) | 0,79 | 1,04 | 0,61 | 0,86 |
| C carbonilos / C aromático (C=O/Ar) | 0,64 | 0,76 | 0,66 | 0,64 |

Los suelos ándicos son más aromáticos y menos alifáticos y presentan una contribución mayor de los grupos carbonílicos, que el suelo de *Tabaibal de Rasca*. El mayor grado de aromaticidad se da en *Ravelo*, donde la señal aromática llega a ser mayor que la alquílica. La

relación O-Al/Al es inferior a la unidad en todos los casos y tiende a disminuir con el carácter ándico, indicando una incorporación más importante de la fracción alquímica que la de carbohidratos a los ácidos húmicos de los suelos.

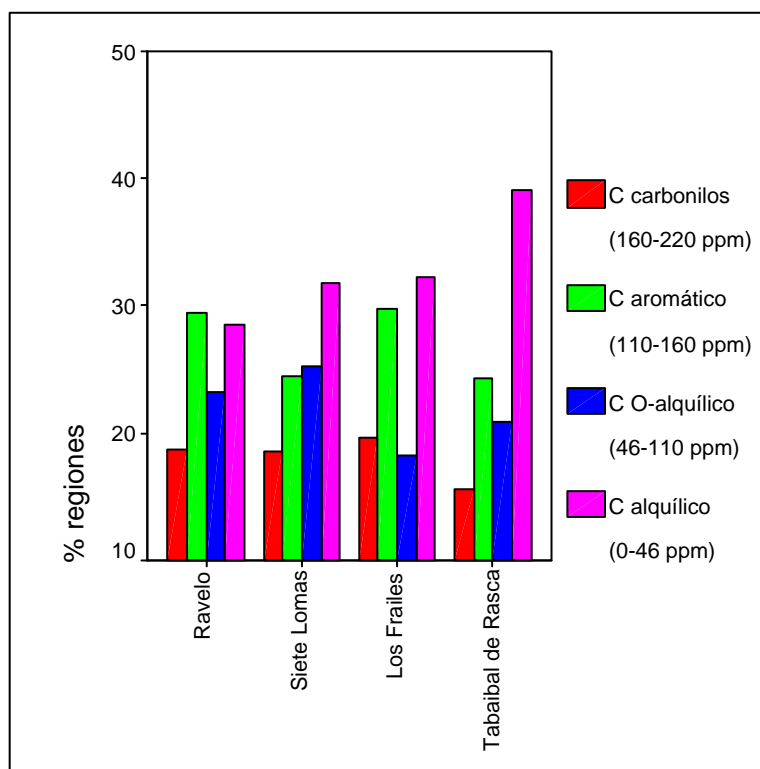


Figura VII.16. Regiones principales de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de ácidos húmicos

iii) ÁCIDOS FÚLVICOS

Los ácidos fúlvicos de los suelos ándicos presentan un predominio de la región O-alquímica, con una contribución similar de las regiones carbonílica y alquímica y una aportación mínima de la región aromática (Tabla VII.6 y Figura VII.17). En el suelo de *Tabaibal de Rasca*, los ácidos fúlvicos presentan una aromaticidad mucho mayor, así como una menor contribución de grupos carbonílicos, aunque también presentan un dominio claro de la región O-alquímica. Las relaciones Al/Ar y O-Al/Ar son muy superiores a la unidad, reflejando el menor carácter aromático de los ácidos fúlvicos con respecto a los húmicos, con los valores más bajos en *Tabaibal de Rasca*, donde la hojarasca se descompone lentamente experimentando por ello un enriquecimiento relativo en núcleos aromáticos.

| | Ravelo | Siete Lomas | Los Frailes | Tabaibal de Rasca |
|---------------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------------|
| Región alquímica (0-46 ppm) | 25,1 | 24,6 | 21,2 | 23,7 |
| Región O-alquímica (46-110 ppm) | 36,7 | 41,9 | 45,4 | 38,0 |
| Región aromática (110-160 ppm) | 12,9 | 12,2 | 12,4 | 25,7 |
| Región carbonílica (160-220 ppm) | 25,3 | 21,3 | 21,0 | 12,5 |
| C alquílico / C aromático (Al/Ar) | 1,94 | 2,02 | 1,72 | 0,92 |
| C O-alquílico / C alquílico (O-Al/Al) | 1,46 | 1,70 | 2,14 | 1,60 |
| C O-alquílico / C aromático (O-Al/Ar) | 2,84 | 3,44 | 3,67 | 1,48 |
| C carbonilos / C aromático (C=O/Ar) | 1,96 | 1,75 | 1,69 | 0,49 |

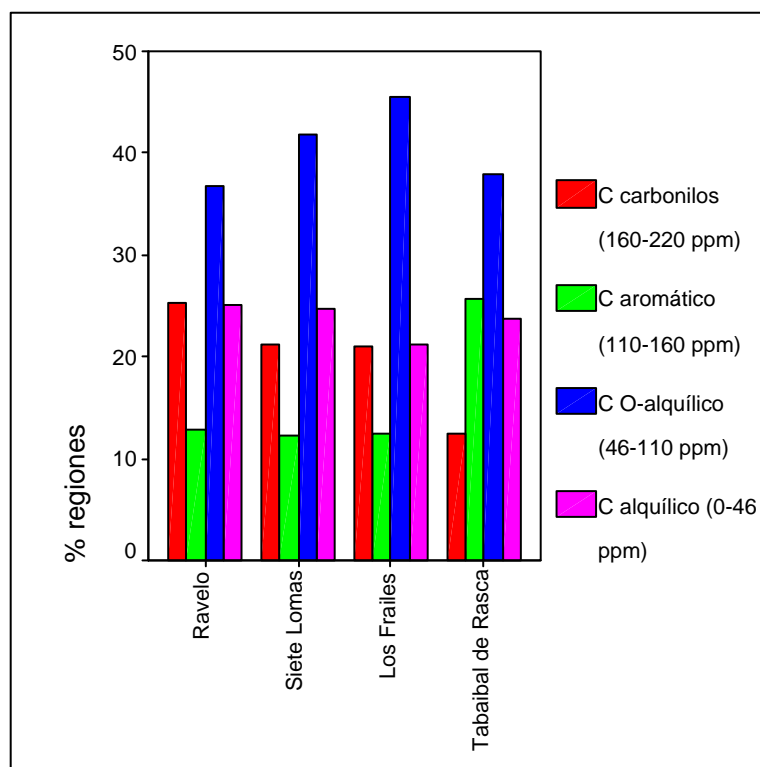


Figura VII.17. Regiones principales de los espectros de RMN de ^{13}C en las muestras de ácidos fúlvicos

VII.3.3. Pirólisis de doble *shot* / cromatografía de gases / espectrometría de masas (Py-GC/MS)

La pirólisis es una técnica analítica degradativa de gran interés para el estudio de la composición química de la materia orgánica del suelo (Simmleit & Schulten, 1989; Beyer *et al.*, 1993; Schulten & Leinweber, 1993; Leinweber & Schulten, 1993, 1995). Consiste en el calentamiento de las muestras a temperaturas elevadas (500-700 °C) durante unos pocos segundos, causando la fragmentación de las macromoléculas en constituyentes más pequeños, que pueden analizarse por la técnica combinada *cromatografía de gases / espectrometría de masas*. Esta técnica permite identificar los compuestos liberados según sus espectros de masas y tiempos de retención en el cromatógrafo de gases, así como cuantificarlos según las áreas de integración de cada pico cromatográfico.

Muchos de los productos de pirólisis se consideran compuestos diagnósticos, suministrando información sobre la composición del material de partida y su historia diagenética. De este modo, es posible identificar tanto compuestos heredados del material original (biomoléculas preservadas selectivamente), como productos neoformados, resultado de los procesos de humificación en el suelo. Según su origen, los productos liberados por pirólisis se clasifican en los siguientes tipos (Eglinton & Logan, 1991):

- Compuestos derivados de carbohidratos (fundamentalmente celulosa y hemicelulosa)
- Compuestos derivados de lípidos
- Compuestos nitrogenados (aminoácidos, proteínas)

- Derivados de lignina
- Compuestos aromáticos inespecíficos

Estos compuestos pueden clasificarse también por familias: metoxifenoles, furanos, fenoles (fenol, alquilfenoles), alquilbencenos (xileno, tolueno, estireno), naftalenos, catecoles, fenantrenos, compuestos nitrogenados (pirroles, piridinas, indoles), alcanos (hidrocarburos saturados), alquenos (hidrocarburos insaturados) y ácidos grasos (Eglinton & Logan, 1991).

La pirólisis de doble *shot* combina la desorción térmica (260°C) y la pirólisis (610°C). La desorción térmica libera compuestos débilmente unidos a través de enlaces de baja estabilidad térmica, que se suponen de origen reciente, con una estructura poco condensada y unidos periféricamente a la estructura más compleja de los ácidos húmicos (Schnitzer *et al.*, 1986; Almendros & González-Vila, 1987). Estos compuestos también pueden originarse como artefactos durante el proceso de extracción en el laboratorio, como resultado de procesos de solvatación; sin embargo, se han encontrado fracciones alquílicas similares en sustancias húmicas aisladas (por ejemplo, huminas) sin ningún tratamiento químico o alcalino (Almendros & González-Vila, 1987), unidas superficialmente a los compuestos húmicos. En estos casos está clara la implicación de procesos físico-químicos eficientes (como interacciones hidrofóbicas, procesos sólido-solución y/o difusión en el interior de matrices orgánicas microporosas), o incluso de quimiosorción en el caso de moléculas con un grupo ácido o alcohol (Almendros, 2008). En nuestro caso consideramos a estos compuestos termolábiles liberados como biomarcadores, y a las diferencias en cuanto a su naturaleza y cantidad relativa en los suelos estudiados, como caracteres diagnósticos de los procesos de formación. La pirólisis de doble *shot* permite medir primero los compuestos más sencillos y débilmente unidos a materiales poliméricos, para seguidamente realizar la pirólisis, centrada en las macromoléculas y compuestos no volátiles, sin necesidad de utilizar una segunda muestra.

A continuación se exponen los resultados obtenidos del análisis pirolítico de las muestras de suelo total (libre de lípidos), y de la pirólisis de doble *shot* de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

i) PIRÓLISIS DEL SUELO TOTAL

En la Figura VII.18 se muestran los pirogramas correspondientes al ión total (TIC) y a las trazas iónicas m/z 69+71, correspondientes a los pares *n*-alcanos/alquenos. En general, los pirogramas correspondientes a los suelos con características ándicas nos permiten identificar un mayor número de compuestos que en el suelo de *Tabaibal de Rasca*. Los pirogramas de los suelos ándicos están dominados por hidrocarburos saturados (m/z 71) e insaturados (m/z 69) (pares *n*-alcanos/alquenos) comprendidos entre C_8 - C_{33} , con una distribución bimodal, máximos en C_{13} y C_{19} y un cierto predominio de los compuestos con número par de carbono. En el caso de *Tabaibal de Rasca* se observa un rango menor en la serie de pares *n*-alcanos/alquenos (C_8 - C_{17}), presentando una distribución normal con máximo en C_{12} y sin dominio claro de los compuestos de índice par o impar.

² m/z equivale a la relación masa/carga (m/z -mass to charge ratio-)

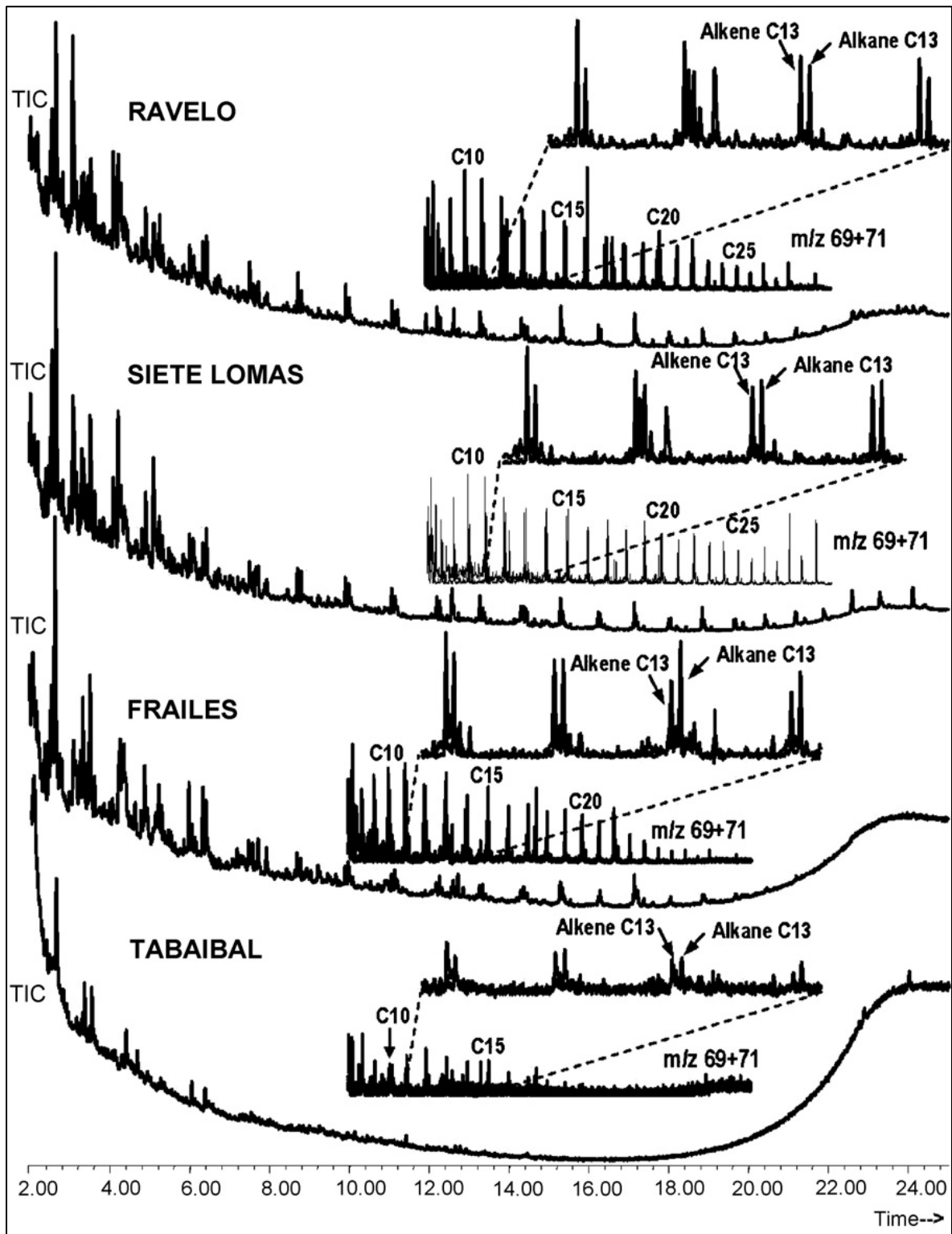


Figura VII.18. Cromatogramas de ión total (TIC) y trazas de alcano/alqueno (m/z 69 +71) de los productos de pirólisis liberados a 610°C de la fracción de suelo total. El número de los pares alcano/alqueno se indica en las trazas.

Otros productos de pirólisis detectados en los pirogramas de los suelos con propiedades ándicas son compuestos derivados del furano y la glucopiranososa, procedentes de carbohidratos; así como alquil-bencenos (sólo en *Tabaibal de Rasca*) y alquil-fenoles, procedentes de la lignina y otros compuestos aromáticos.

ii) DESORCIÓN TÉRMICA DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

En la Figura VII.19 se muestran los cromatogramas del ion total (TIC) y las trazas de los iones seleccionados de los productos liberados durante la desorción térmica; los compuestos identificados se detallan en la Tabla VII.7.

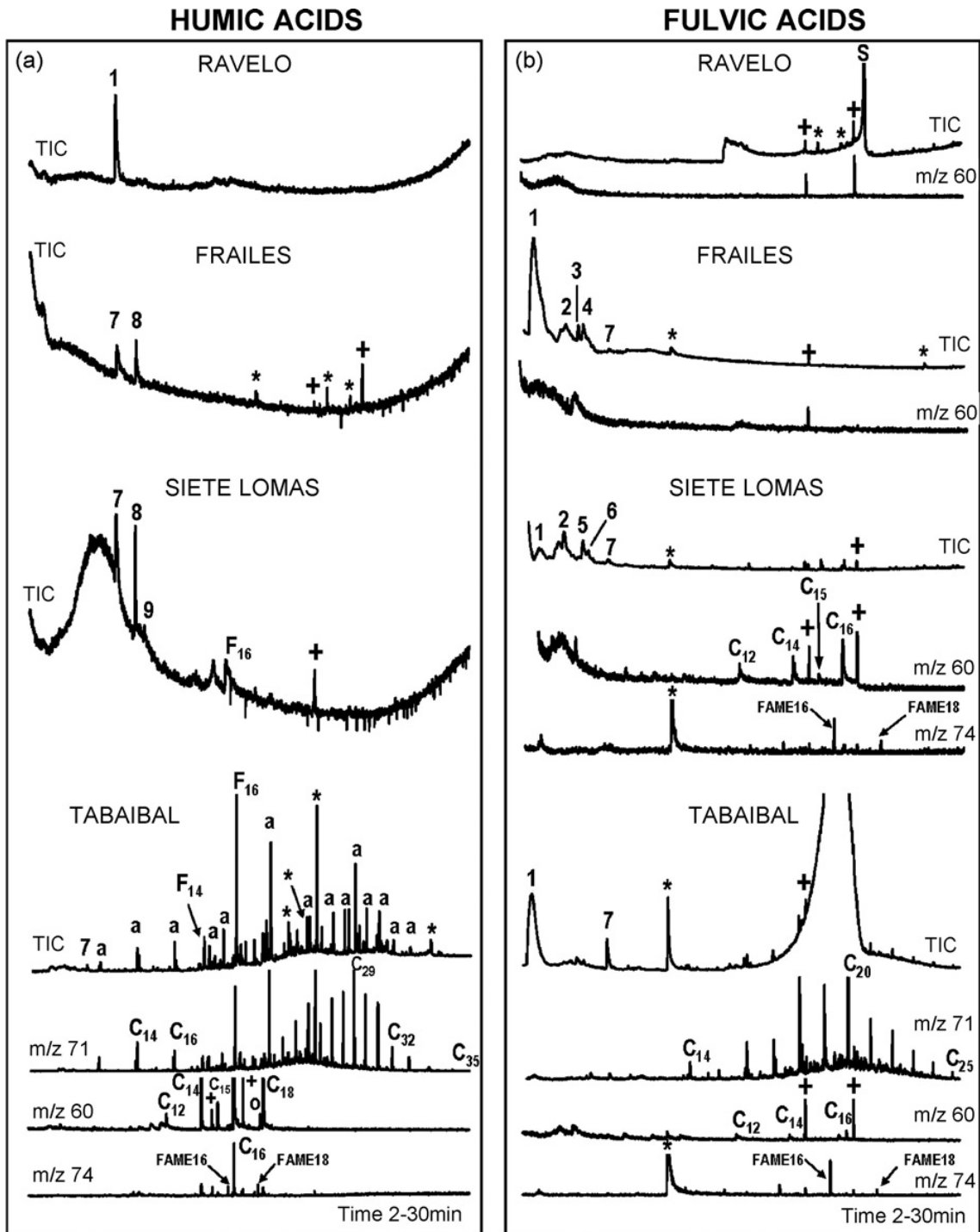


Figura VII.19. Cromatogramas de ión total (TIC) y trazas de iones seleccionados de los productos de desorción liberados a 260°C de las fracciones húmicas y fúlvicas. La rotulación de las trazas corresponde a la indicada en la Tabla VII.7.

| Ref. | Compuesto | Origen |
|------|--|---------------|
| 1 | Furfural | Carbohidratos |
| 2 | Metilfurandiona | Carbohidratos |
| 3 | Metilhidantoína | Proteínas |
| 4 | Dihidrofurandiona | Carbohidratos |
| 5 | Dimetilciclopentanona | Lípidos |
| 6 | Dimetilfurandiona | Carbohidratos |
| 7 | Furanmetanol | Carbohidratos |
| 8 | Tributilamina | Desconocida |
| 9 | Dihidroglucopiranososa | Carbohidratos |
| F | Ácidos grasos | Lípidos |
| o | Ácido graso insaturado C ₁₈ | Lípidos |
| + | Cera de bajo peso molecular | Lípidos |
| a | Dobletes alcano/alqueno | Lípidos |
| S | Sulfuro (S8) | - |
| FAME | Metil-ésteres de ácidos grasos | Lípidos |
| * | Dialquil-ftalatos | Contaminante |

Referencias de la Figura VII.19

Sólo se observa una desorción relevante en los ácidos húmicos y fúlvicos del suelo de *Tabaibal de Rasca*, disminuyendo la cantidad y diversidad de compuestos termoevaporados a medida que aumenta el carácter ándico de los suelos. En los suelos ándicos (*Los Frailes*, *Siete Lomas*, y *Ravelo*) sólo se detectan derivados furánicos, ácidos grasos y algunas ceras de bajo peso molecular, así como un compuesto nitrogenado (tributilamina).

En los suelos de *Siete Lomas* y *Tabaibal de Rasca* pueden observarse claramente series de ácidos grasos de cadena relativamente corta (C₁₂-C₁₆) y metil-ésteres de ácidos grasos (C₁₆ y C₁₈), indicadores de una alta actividad biológica.

Sólo se observa un dominio alquílico en los ácidos húmicos y fúlvicos del suelo de *Tabaibal de Rasca*. En la fracción de ácidos húmicos de este suelo se identificó una serie de alcanos con distribución bimodal (C₁₂-C₂₀ y C₂₁-C₃₅), con un primer máximo a C₁₄ y predominio de los compuestos con número par de átomos de carbono; y un segundo máximo a C₂₉, en el caso de los compuestos de cadena larga, sin dominio aparente de los compuestos de índice par o impar, y ausencia de cadenas insaturadas (*n*-alquenos). Igualmente, en la fracción de ácidos fúlvicos sólo se distingue la serie de *n*-alcanos (C₁₄-C₂₅), con máximo en C₂₀ y sin predominio de compuestos de número par o impar.

iii) PIRÓLISIS DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS

El análisis GC/MS de los productos liberados durante el segundo *shot* (610°C) de los ácidos húmicos, se muestra en la Figura VII.20 y Tabla VII.8.

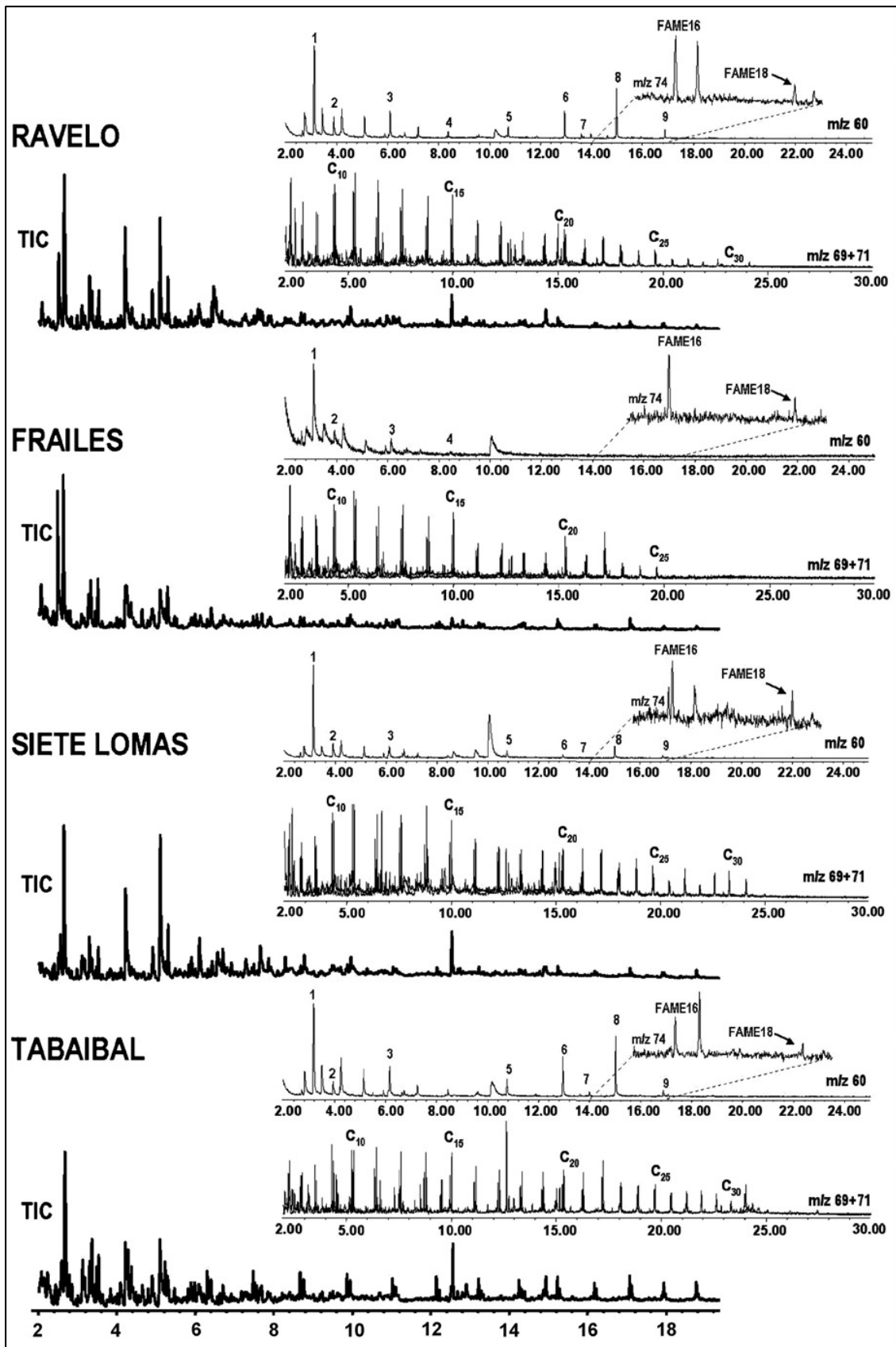


Figura VII.20. Cromatogramas de ión total (TIC) y trazas de iones seleccionados de los productos de pirólisis liberados a 610°C de los ácidos húmicos.

Tabla VII.8. Abundancia de los principales ácidos grasos liberados por la pirólisis a 610°C de los ácidos húmicos^a y proporción 16 vs. 18 de metil-ésteres de ácidos grasos (FAME, *fatty acid metil esters*)

| Ref. | Compuesto | Ravelo | Los Frailes | Siete Lomas | Tabaibal de Rasca |
|------|-----------------------------------|--------|-------------|-------------|-------------------|
| 1 | Valérico (C ₅) | 47,06 | 79,98 | 71,00 | 42,63 |
| 2 | Caproico (C ₆) | 5,71 | 5,46 | 7,43 | 3,93 |
| 3 | Caprílico (C ₈) | 10,81 | 12,74 | 7,33 | 11,25 |
| 4 | Cáprico (C ₁₀) | 2,07 | 1,82 | - | - |
| 5 | Láurico (C ₁₂) | 3,03 | - | 3,45 | 5,66 |
| 6 | Mirístico (C ₁₄) | 9,64 | - | 1,63 | 14,57 |
| 7 | Pentadecanoico (C ₁₅) | 1,79 | - | 0,81 | 1,12 |
| 8 | Palmítico (C ₁₆) | 16,75 | - | 6,42 | 28,92 |
| 9 | Esteárico (C ₁₈) | 3,14 | - | 1,92 | 1,92 |
| | FAME 16/18 | 2,7 | 2,3 | 1,5 | 1,9 |

Referencias de la Figura VII.20; -, no detectado.

^aPorcentaje del área cromatográfica acumulada para los ácidos grasos totales

Los ácidos húmicos presentan pirogramas bien resueltos y con un gran número de compuestos, derivados en su mayoría de carbohidratos, lignina, proteínas y lípidos. La detección de biomarcadores fenólicos, de tipo metoxifenol, indica la presencia de lignina residual, aunque cuantitativamente minoritaria respecto a otros compuestos aromáticos y la serie alquílica. Estos resultados apuntan a unos activos procesos de humificación, prevaleciendo la degradación microbiana sobre la preservación selectiva de las macromoléculas de origen vegetal.

En todas las muestras se observan pares alcano/alqueno y series de ácidos grasos, incluyendo ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMEs). La ausencia de estos materiales alquílicos en los experimentos previos de desorción de los suelos de *Ravelo*, *Siete Lomas* y *Los Frailes* indica una incorporación eficiente de los metabolitos alifáticos microbianos y vegetales a los dominios estructurales más estables de los ácidos húmicos en los suelos ándicos.

En la Figura VII.20 se muestra la distribución de los hidrocarburos alifáticos, según las trazas de los iones moleculares de relación masa/carga (m/z) = 69 y 71. Ambas series muestran un amplio rango que va de C₅ a C₃₂ en los suelos con propiedades ándicas, y de C₅ a C₃₄ en el suelo de *Tabaibal de Rasca*. Al contrario que en la desorción térmica, en este caso aparece bien resuelta la serie de *n*-alquenos en todas las muestras.

En la serie de *n*-alcanos no se observa dominio de los compuestos de número par o impar en los ácidos húmicos de *Tabaibal de Rasca*, *Los Frailes* y *Siete Lomas*, mientras que *Ravelo* muestra un predominio de los compuestos con número par de carbonos en el rango C₂₄-C₃₁. *Siete Lomas* y *Tabaibal de Rasca* comparten una serie de alcanos de cadena larga (>C₂₈).

En la serie de alquenos se observa una distribución bimodal con máximos en C₁₁ y C₂₂, en donde los alcanos de cadena corta (<C₁₈) tienen una ligera dominancia de los compuestos de número de carbono impar sobre los de carbono par, invirtiéndose esta tendencia (pares sobre impares) desde C₂₃ hasta finalizar la serie, con un descenso en la intensidad en los alquenos de cadena más larga.

Contrariamente a los *n*-alcanos, los *n*-alquenos son infrecuentes en los lípidos de las plantas superiores y, cuando están presentes, sólo presentan una abundancia relativa muy baja en comparación con los *n*-alcanos (Tulloch, 1976). Por ello la serie de *n*-alquenos detectada en la

pirólisis probablemente corresponde a compuestos secundarios formados por degradación de otros compuestos lipídicos.

Las distribuciones observadas de hidrocarburos alifáticos indican que, al contrario que en la desorción, los alcanos y alquenos no se originan por la termovaporización de hidrocarburos atrapados. Su origen es compatible con la rotura de los enlaces carbono-carbono de las cadenas alquílicas, también presentes en la estructura macromolecular de los ácidos húmicos, o probablemente derivadas de macromoléculas hidrolizables y no-hidrolizables de lípidos, incluyendo estructuras residuales de tipo suberoso o cutanoso (Riederer *et al.*, 1993; Almendros & Sanz, 1991). Concretamente, algunas de estas biomacromoléculas alifáticas están muy extendidas en la materia orgánica del suelo, sobre todo cuando derivan de los tejidos vegetales subterráneos. Por esta razón, su aparición es también compatible con la liberación sistemática de derivados del ácido cinámico (Tabla VII.9) observada en los pirolizados (Bernards *et al.*, 1995).

Particularmente, el ligero dominio de alquenos con número par de carbonos observada entre C₁₈ y C₂₃ sugiere cierta contribución de biomacromoléculas no-hidrolizables altamente alifáticas, como la rotura de cutanos y suberanos de capas vegetales cuticulares y suberizadas (Tegelaar *et al.*, 1989, 1995). Los *n*-alcanoles de cadena larga C₂₀ a C₂₈ y número par de carbonos son frecuentes en los lípidos de las plantas superiores (Rieley *et al.*, 1991), pudiendo originarse también alquenos a partir de la alteración y deshidratación de dichos alcoholes. Los alquenos son sensibles a la degradación microbiana, pero estarían eficientemente protegidos de la degradación por la protección estérica proporcionada por su atrapamiento en la estructura macromolecular de los ácidos húmicos.

Además, se piensa que algunos de los dominios alquílicos estables en los ácidos húmicos son incorporados covalentemente como resultado de reacciones de condensación en el suelo (Almendros & Sanz, 1992). Se considera que este proceso abiótico juega un papel clave en los medios acuáticos (Harvey & Boran, 1985) o en los micro-compartimentos inundados del suelo que podrían formarse temporalmente en algunos suelos ándicos (Harvey & Boran, 1983). En cualquier caso, no debe descartarse la importancia cuantitativa de la inmovilización temprana de los ésteres de glicerol poliinsaturados en presencia de minerales edáficos reactivos en todos los tipos de suelos.

Las series de alquil-bencenos, frecuentemente observada en la pirólisis de materiales macromoleculares naturales, son también evidentes y muy probablemente se formaron durante la pirólisis por reacciones secundarias de ciclización / aromatización (Almendros *et al.*, 1996). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) de 2 y 3 anillos observados, son más abundantes y diversos en los suelos de *Ravelo* y *Los Frailes*, lo que puede relacionarse al menos en este último caso con su historial de incendios, ya que la combustión de la biomasa es una fuente de este tipo de compuestos, aunque lo más probable es que tengan un origen similar al de los bencenos alquilados.

Durante la pirólisis se observan una serie de ácidos grasos de C₅ a C₁₈ átomos de carbono (Tabla VII.9). Predominan los ácidos grasos con número par de átomos de carbono, a excepción del homólogo más corto (C₅). Esta producción de ácidos grasos es compatible con la aparición de roturas de las cadenas alquílicas bajo un estrés térmico intenso. Esto se refleja asimismo en la presencia abundante de ácidos grasos más cortos que los ácidos “biológicos” comunes (<C₁₄).

Tabla VII.9. Abundancia de los principales productos de pirólisis liberados de los ácidos húmicos a 610°C con una indicación del tiempo de retención, como se muestra en la Figura VII.20

| Ref. | Tiempo (min.) | Compuesto | Ravelo | Frailles | Siete Lomas | Tabaibal de Rasca | Procedencia |
|------|---------------|--|--------|----------|-------------|-------------------|---------------|
| 1 | 2,07 | Benceno | 2,49 | 4,61 | 1,74 | – | Aromático |
| 2 | 2,18 | Cicloheptano | – | 0,92 | – | – | Lípidos |
| 3 | 2,18 | Alqueno (C ₇) | 0,41 | 0,75 | 0,68 | 1,97 | Lípidos |
| 4 | 2,23 | Furano, 2-etil- | 0,26 | – | – | – | Carbohidratos |
| 5 | 2,31 | 2,4-Dimetilfurano | 0,24 | 0,46 | 0,38 | – | Carbohidratos |
| 6 | 2,35 | Compuesto-N | 0,65 | 0,62 | 0,77 | 0,61 | Proteínas |
| 7 | 2,42 | Butanonitrilo, 3-metil (<i>isovalerol</i>) | – | 1,01 | 0,79 | 1,07 | Proteínas |
| 8 | 2,46 | 2-metilciclohexa-1,3-dieno | – | – | 0,42 | 1,12 | Lípidos |
| 9 | 2,49 | Piridina | 3,79 | 9,94 | 1,29 | 0,9 | Proteínas |
| 10 | 2,54 | Pirrol | 1,61 | ND | 3,08 | 3,21 | Proteínas |
| 11 | 2,64 | Benceno, metil- (<i>tolueno</i>) | 11,74 | 14,75 | 11,22 | 10,98 | Aromático |
| 12 | 2,76 | Alqueno (C ₈) | 0,44 | 0,92 | 0,61 | 1,62 | Lípidos |
| 13 | 2,81 | Alcano (C ₈) | 0,49 | 1,01 | 0,68 | 0,84 | Lípidos |
| 14 | 2,92 | 1H-Pirrol, 2-etil- (<i>2-etilpirrol</i>) | – | – | 0,13 | – | Proteínas |
| 15 | 2,92 | Furano, 2,3,5-trimetil- | 0,17 | – | – | – | Carbohidratos |
| 16 | 2,96 | Piridina, 2-metil- | 0,89 | 0,79 | 0,68 | 0,81 | Proteínas |
| 17 | 3,09 | 1H-Pirrol, 2-metil- | 2,11 | 1,77 | 1,92 | 3 | Proteínas |
| 18 | 3,16 | 1H-Pirrol, 2-metil- | 1,08 | 1,01 | 0,8 | 0,91 | Proteínas |
| 19 | 3,28 | Benceno, etil- (<i>etilbenceno</i>) | 3,12 | 2,58 | 2,26 | 1,74 | Aromático |
| 20 | 3,34 | Benceno, 1,3-dimetil- | 2,45 | 4,02 | 1,68 | 2,85 | Aromático |
| 21 | 3,46 | Alqueno (C ₉) | 0,57 | 0,88 | 0,55 | 1,56 | Lípidos |
| 22 | 3,5 | Estireno | – | – | 2,28 | – | Aromático |
| 23 | 3,53 | <i>o</i> -Xileno | 3,02 | 4,38 | – | 3,55 | Aromático |
| 24 | 3,62 | 2-ciclopenten-1-ona, 2-metil- | 0,38 | 0,56 | 0,33 | 0,77 | Lípidos |
| 25 | 3,74 | 1H-Pirrol, 2,3-dimetil- | 0,26 | – | 0,39 | – | Proteínas |
| 26 | 3,82 | Piridina, 3,4-dimetil- | 0,66 | – | 0,38 | 0,67 | Proteínas |
| 27 | 3,94 | Piridina, 2,3-dimetil- | 0,28 | – | 0,52 | – | Proteínas |
| 28 | 4,01 | Propilbenceno | 0,48 | 0,79 | 0,47 | 0,56 | Aromático |
| 29 | 4,09 | Benceno, 1,2,3-trimetil- | 0,89 | 0,88 | 0,68 | 1,21 | Aromático |
| 30 | 4,2 | Fenol | 6,61 | 3,14 | 7,97 | 3,64 | Aromático |
| 31 | 4,28 | Alqueno (C ₁₀) | 1,31 | – | 0,97 | 2,51 | Lípidos |
| 32 | 4,37 | Benceno, 1-etil-3-metil- | 1,46 | – | – | – | Aromático |
| 33 | 4,41 | Alcano (C ₁₀) | 0,88 | 0,79 | 0,28 | 0,95 | Lípidos |
| 34 | 4,39 | C ₃ -Alquilbenceno | – | – | – | 1,28 | Aromático |
| 35 | 4,42 | Benzofurano | – | – | 0,36 | – | Carbohidratos |
| 36 | 4,42 | Guanidina | – | – | – | 0,76 | Proteínas |
| 37 | 4,49 | Piridina, 3,5-dimetil- | 0,28 | ND | 0,3 | – | Proteínas |
| 38 | 4,51 | 1-Deceno, 4-metil | – | – | – | 0,53 | Lípidos |
| 39 | 4,58 | 4-Piridinamina | – | – | 0,25 | 0,6 | Proteínas |
| 40 | 4,66 | C ₃ -Alquilbenceno | 1,1 | 1,7 | 0,14 | 0,56 | Aromático |
| 41 | 4,8 | 2,3-Dimetil-2-ciclopenten-1-ona | 0,35 | 0,56 | 0,22 | 0,56 | Lípidos |
| 42 | 4,89 | Indeno | – | 0,65 | – | – | Aromático |
| 43 | 4,9 | Fenol, 2-metil- (<i>o-cresol</i>) | 2,3 | 0,88 | 1,76 | 1,97 | Aromático |
| 44 | 4,96 | C ₅ -Alquilbenceno | 0,38 | – | 13,21 | – | Aromático |
| 45 | 5,09 | Fenol, 4-metil- (<i>p-cresol</i>) | 7,97 | 8,47 | – | 7,24 | Aromático |
| 46 | 5,24 | Alqueno (C ₁₁) | 0,43 | 1,37 | 0,91 | 1,32 | Lípidos |
| 47 | 5,3 | Fenol, 2-metoxi- (<i>guayacol</i>) | 3,03 | 4,02 | 3,17 | 0,97 | Lignina |
| 48 | 5,43 | Cinamaldehído | 0,15 | 0,82 | 0,36 | – | Lignina? |
| 49 | 5,49 | Bencilnitrilo | 0,56 | – | – | 0,7 | Proteínas |

Tabla VII.9 (continuación). Abundancia de los principales productos de pirólisis liberados de los ácidos húmicos a 610°C con una indicación del tiempo de retención como se muestra en la Figura VII.20

| Ref. | Tiempo (min.) | Compuesto | Ravelo | Frailles | Siete Lomas | Tabaibal de Rasca | Procedencia |
|------|---------------|--|--------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| 50 | 5,54 | Benzofurano, 2-metil- | 0,35 | 0,65 | 0,14 | – | Aromático |
| 51 | 5,6 | 3-Acetoxipiridina | 0,46 | – | 0,46 | – | Proteínas |
| 52 | 5,65 | 1,3-Benzodioxol-2-ona | 0,19 | – | – | – | Aromático |
| 53 | 5,72 | 2,5-Pirrolidinediona | 0,42 | – | 0,53 | – | Proteínas |
| 54 | 5,84 | Bencenoacetoniitrilo | 0,52 | – | 0,64 | 0,63 | Proteínas |
| 55 | 5,89 | Fenol, 2,4-dimetil- (<i>2,4-xilenol</i>) | 1,24 | 0,98 | 1,59 | 1,25 | Aromático |
| 56 | 6,02 | 2-metilindeno | 0,77 | 1,31 | 0,64 | 1,3 | Aromático |
| 57 | 6,08 | Fenol, 4-etil- | 2,3 | 1,08 | 3,91 | 0,51 | Aromático |
| 58 | 6,23 | Fenol, 2,3-dimetil- | 0,26 | – | – | 0,77 | Aromático |
| 59 | 6,27 | (Ciclohex-2-en-1-il)amina | 0,14 | – | – | – | Proteínas |
| 60 | 6,33 | Alqueno (C ₁₂) | 0,29 | 0,52 | 0,39 | 1,46 | Lípidos |
| 61 | 6,38 | Etanona, 1-(4-metilfenil)- | – | – | – | 0,51 | Lignina? |
| 62 | 6,43 | Metilguayacol | 1,39 | 3,01 | 1,07 | 1,23 | Lignina |
| 63 | 6,47 | 1,2-Bencenodiol (<i>pirocatecol</i>) | 2,81 | – | 3,03 | – | Aromático |
| 64 | 6,64 | 2-Vinil-2,3-dihidrobenzofurano | 0,23 | 0,65 | – | 0,91 | |
| 65 | 6,67 | 4-Vinilfenol (<i>p-vinifenol</i>) | 0,52 | 1,14 | 2,03 | 1,79 | Aromático |
| 66 | 6,8 | Fenol, 3-metoxi- (<i>m-guayacol</i>) | – | – | 0,36 | – | Ligninas |
| 67 | 6,89 | 2-Isopropoxifenol | 0,26 | 0,79 | – | 0,54 | Ligninas |
| 68 | 6,92 | Fenol, 4-(1-metiletil)- | – | – | 1,18 | – | Ligninas |
| 69 | 7,01 | Bencenopropanonitrilo | 0,3 | – | 0,13 | – | Proteínas |
| 70 | 7,15 | Fenol, 2,4,5-trimetil- | 0,21 | – | – | – | Aromático |
| 71 | 7,21 | C ₆ -Alquilbenceno | – | 0,46 | – | – | Aromático |
| 72 | 7,21 | 1,3-Bencenodiol, 2-metil- | 0,59 | – | – | – | Lignina |
| 73 | 7,28 | 1,2-Bencenodiol, 3-metoxi- | 0,51 | – | 1,82 | – | Lignina |
| 74 | 7,41 | Etiltetrametilciclopentadieno | 0,15 | – | – | – | |
| 75 | 7,45 | Etilguayacol | 0,32 | – | 0,25 | – | Lignina |
| 76 | 7,5 | Alqueno (C ₁₃) | 0,45 | 0,56 | 0,49 | 1,23 | Lípidos |
| 77 | 7,54 | Cadena alquílica ramificada | – | – | – | 0,79 | Lípidos |
| 78 | 7,54 | Benceno, (2-propinilo)- | 0,3 | – | – | – | Aromático |
| 79 | 7,55 | 1 <i>H</i> -Inden-1-ona, 2,3-dihidro- | – | 0,46 | 0,11 | – | Aromático |
| 80 | 7,59 | Alcano (C ₁₃) | – | 0,92 | 0,19 | 0,76 | Lípidos |
| 81 | 7,59 | 1,2-Bencenodiol, 4-metil- | 1,31 | ND | – | – | Aromático |
| 82 | 7,66 | Indol | 1,24 | ND | 2,61 | 0,9 | Proteínas |
| 83 | 7,72 | Naftaleno, 2-metil- | 0,77 | 1,05 | – | 0,88 | Aromático |
| 84 | 7,87 | Vinilguayacol | 0,57 | 0,49 | 0,71 | – | Lignina |
| 85 | 7,93 | Naftaleno, 2-metil- | 0,48 | 0,95 | – | – | Aromático |
| 86 | 8,11 | Homocatecol | – | – | 0,41 | – | Lignina |
| 87 | 8,31 | Fenol, 2,6-metoxi- (<i>pirogalol</i>) | 0,26 | – | 0,86 | – | Lignina |
| 88 | 8,44 | C ₇ -Alquilbenceno | 0,38 | 0,56 | – | – | Aromático |
| 89 | 8,71 | Alqueno (C ₁₄) | 0,94 | 0,98 | 0,49 | 1,32 | Lípidos |
| 90 | 8,79 | 1 <i>H</i> -Indol, 5-metil- | – | – | 1,19 | – | Proteínas |
| 91 | 8,79 | Alcano (C ₁₄) | 0,56 | 0,59 | – | 1,05 | Lípidos |
| 92 | 8,99 | Benzaldehído, 2,4,6-trimetil- | 0,27 | – | – | – | Aromático |
| 93 | 9,13 | Benzaldehído, 2,4,6-trimetil- | 0,14 | – | – | – | Aromático |
| 94 | 9,17 | Ácido <i>cis</i> -cinámico | – | – | 0,27 | – | Lignina |
| 95 | 9,22 | Naftaleno, 1,3-dimetil- | 0,13 | 0,59 | – | 0,49 | Aromático |
| 96 | 9,51 | Piceol | – | – | 0,33 | – | Lignina |
| 97 | 9,86 | 1 <i>H</i> -Indol, 2,3-dihidro-4-metil- | – | – | 0,28 | – | Proteínas |
| 98 | 9,9 | Alqueno (C ₁₅) | 0,41 | 0,56 | 0,39 | 1,09 | Lípidos |

Tabla VII.9 (continuación). Abundancia de los principales productos de pirólisis liberados de los ácidos húmicos a 610°C con una indicación del tiempo de retención como se muestra en la Figura VII.20

| Ref. | Tiempo (min.) | Compuesto | Ravelo | Frailles | Siete Lomas | Tabaibal de Rasca | Procedencia |
|------|---------------|---|--------|----------|-------------|-------------------|---------------|
| 99 | 9,99 | Cadena alquílica ramificada | – | – | – | 0,67 | Lípidos/Ceras |
| 100 | 9,99 | Acetovanilona | 1,61 | ND | 0,74 | – | Lignina |
| 101 | 10 | Alcano (C ₁₅) | – | 0,82 | – | – | Lípidos |
| 102 | 10,27 | 1-Naftalenol | 0,22 | – | – | – | Aromático |
| 103 | 10,4 | 3,5-Dimetil-2-(2-furil)piridina | – | – | 0,31 | – | Proteínas |
| 104 | 10,4 | Dibenzofurano | 0,34 | – | – | – | Aromático? |
| 105 | 10,72 | Naftaleno, 2,3,6-trimetil- | 0,3 | 0,43 | – | – | Aromático |
| 106 | 10,91 | Naftaleno, 1,6,7-trimetil- | 0,53 | 0,43 | – | – | Aromático |
| 107 | 11,07 | Alqueno (C ₁₆) | – | – | 0,35 | 0,93 | Lípidos |
| 108 | 11,08 | Anhídrido 4-metilftálico | 0,58 | – | – | – | Contaminante |
| 109 | 11,15 | Alcano (C ₁₆) | 0,15 | 0,46 | – | – | Lípidos |
| 110 | 11,22 | Naftaleno, 1,4,5-trimetil- | 0,37 | – | – | – | Aromático |
| 111 | 12,2 | Alqueno (C ₁₇) | 0,34 | – | 0,42 | 1,16 | Lípidos |
| 112 | 12,27 | Alcano (C ₁₇) | 0,24 | 0,46 | – | 0,51 | Lípidos |
| 113 | 12,33 | Azuleno, 7-etil-1,4-dimetil- | 0,15 | – | – | – | |
| 114 | 12,57 | 1,1'-Bifenil-2,2'-diol | – | – | – | 0,47 | Aromático |
| 115 | 12,57 | 1-Óxido de 6-metil-2,2'-bipiridina | 1,93 | – | – | – | Proteína |
| 116 | 12,57 | Psoraleno (<i>fucumarina</i>) | – | – | 2,97 | – | Lignina |
| 117 | 12,59 | 1,2-difenil etileno | – | 1,24 | – | – | Aromático |
| 118 | 12,62 | cis-2-Metil-7-octadeceno | – | – | – | 2,63 | Lípidos/Ceras |
| 119 | 12,73 | Cadena alquílica ramificada | – | – | 0,14 | – | Lípidos/Ceras |
| 120 | 12,86 | Naftaleno, 1,2,3,4-tetrametil- | 0,28 | 0,56 | – | – | Aromático |
| 121 | 12,94 | Ácido tetradecanoico (<i>ácido mirístico</i>) | 0,56 | – | – | 0,93 | Ácidos grasos |
| 122 | 13,27 | Alqueno (C ₁₈) | 0,24 | – | 0,35 | 0,98 | Lípidos |
| 123 | 13,34 | Alcano (C ₁₈) | 0,16 | – | – | – | Lípidos |
| 124 | 13,38 | Antraceno/Fenantreno | 0,35 | – | – | – | Aromático |
| 125 | 13,69 | 2,4,6-Trimetoxitiofenol | 0,15 | – | 0,28 | – | Lignina |
| 126 | 14,31 | Alqueno (C ₁₉) | 0,2 | – | 0,27 | 0,76 | Lípidos |
| 127 | 14,42 | Hexadecanonitrilo (<i>palmitonitrilo</i>) | 0,17 | 0,43 | – | – | |
| 128 | 14,46 | Furano, 2-octil- | 0,24 | 0,39 | 0,2 | – | Carbohidratos |
| 129 | 14,94 | 3,9-Diazatriciclo [7.3.0.0(3,7)]dodecano-2,11-diona | 0,16 | – | 0,71 | – | |
| 130 | 14,99 | Ácido hexadecanoico (<i>ácido palmítico</i>) | 1,04 | – | – | 1,53 | Ácidos grasos |
| 131 | 15,29 | Alqueno (C ₂₀) | 0,43 | 0,62 | 0,47 | 1 | Lípidos |
| 132 | 15,35 | Alcano (C ₂₀) | 0,17 | – | 0,16 | 0,46 | Lípidos |
| 133 | 16,23 | Alqueno (C ₂₁) | 0,16 | – | 0,19 | 0,67 | Lípidos |
| 134 | 16,29 | Alcano (C ₂₁) | 0,16 | – | – | 0,51 | Lípidos |
| 135 | 16,86 | Ácido octanodecanoico (<i>ácido esteárico</i>) | 0,21 | – | – | – | Ácidos grasos |
| 136 | 17,14 | Alqueno (C ₂₂) | 0,3 | 0,82 | 0,41 | 1,12 | Lípidos |
| 137 | 17,19 | Alcano (C ₂₂) | – | – | 0,14 | 0,54 | Lípidos |
| 138 | 18,02 | Alqueno (C ₂₃) | 0,17 | – | 0,17 | 0,63 | Lípidos |
| 139 | 18,85 | Alqueno (C ₂₄) | 0,13 | – | 0,3 | 0,68 | Lípidos |
| 140 | 19,64 | Alqueno (C ₂₅) | 0,21 | – | 0,28 | 0,88 | Lípidos |

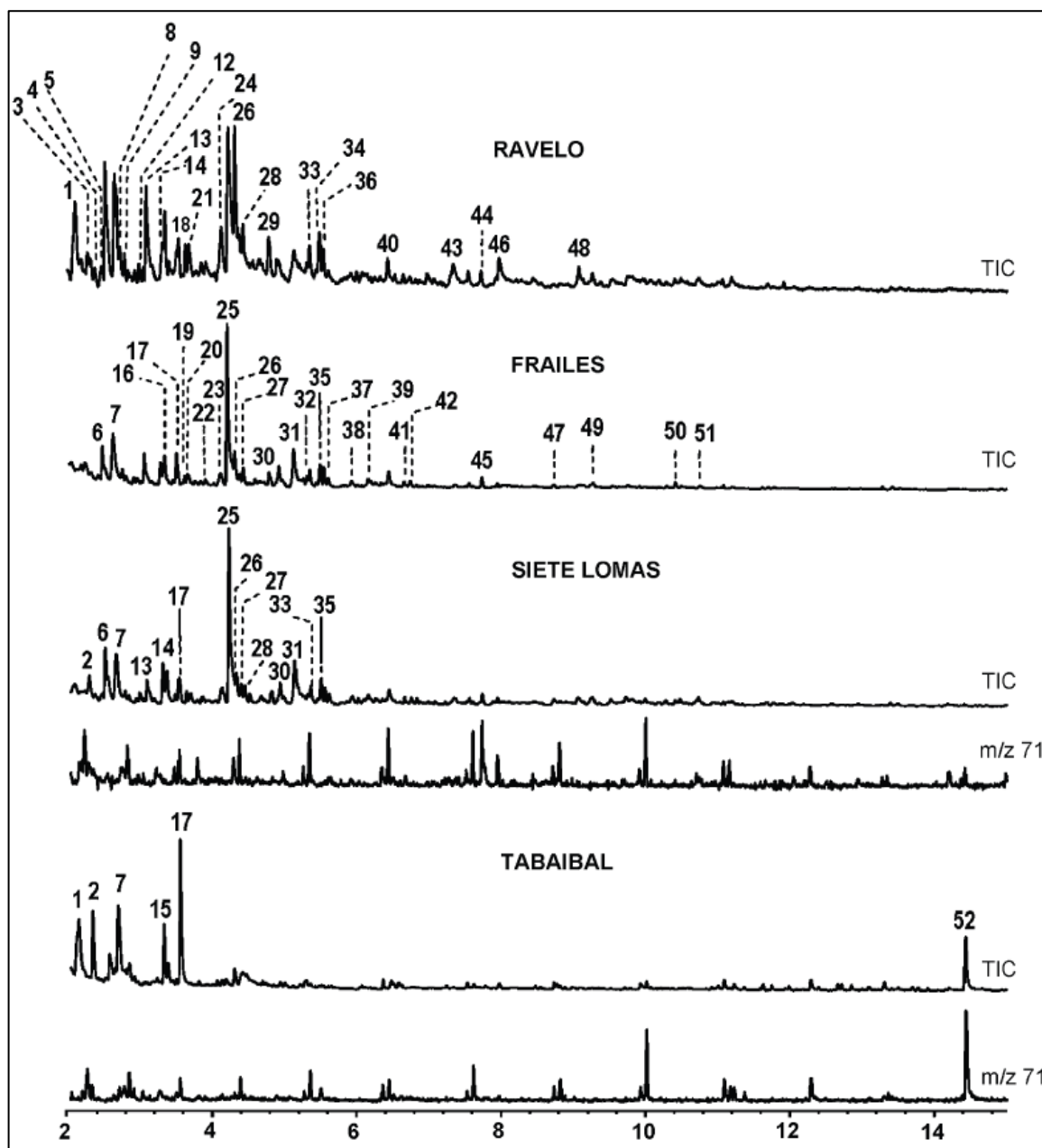


Figura VII.21. Cromatogramas de ión total (TIC) y trazas de iones seleccionados de los productos de pirólisis liberados a 610°C de los ácidos fúlvicos. La rotulación de las trazas se detalla en la Tabla VII.10.

iv) PIRÓLISIS DE ÁCIDOS FÚLVICOS

En la Figura VII.21 y la Tabla VII.10 se muestran los resultados obtenidos del análisis GC/MS de los productos generados durante la pirólisis a 610°C de los ácidos fúlvicos. Al igual que ocurre con los ácidos húmicos, la riqueza de los cromatogramas de los ácidos fúlvicos se incrementa con el carácter ándico de los suelos (Figura VII.21). Los pirogramas de los suelos con propiedades ándicas están dominados por compuestos derivados de precursores de proteínas y de carbohidratos (Tabla VII.10). En el caso de los carbohidratos, son precursores los compuestos furánicos (3, 4, 13) mientras que para las proteínas lo son los compuestos nitrogenados (6, 12, 14, 26, 43). En los cromatogramas de ion total (TIC) son abundantes los compuestos aromáticos de origen no específico, aunque entre ellos se detectan algunos metoxifenoles derivados de lignina (32). El pirograma de los suelos de *Tabaibal de Rasca* es

muy pobre y está dominado por compuestos aromáticos (1, 7, 17) y metil-ésteres y ácidos grasos metilados de cadena corta (2, 15).

| Ref. | Compuesto | Ravelo | Frailles | Siete Lomas | Tabaibal de Rasca | Procedencia |
|------|---|--------|----------|-------------|-------------------|---------------|
| 1 | Benceno | 7,9 | – | – | 23,7 | Aromático |
| 2 | Ác. 2-propenoico, 2-metil-, éster metílico | – | – | 4 | 11,7 | Ácido graso |
| 3 | Furano, 2,5-dimetil- | 1,3 | 2,2 | – | – | Carbohidratos |
| 4 | Furano, 2-vinil- | 1,1 | – | – | – | Carbohidratos |
| 5 | Tiazol | 1,6 | – | – | – | Proteínas |
| 6 | Piridina | 9,2 | 5,3 | 6,6 | – | Proteínas |
| 7 | Benceno, metil- | 9,9 | 10,9 | 10,6 | 16,2 | Aromático |
| 8 | Tiofeno, 2-metil- | 1,7 | – | – | – | |
| 9 | Ciclopentanona | 1 | 1,5 | – | – | Lípidos |
| 10 | 2-Etil-5-metilfurano | – | 1,2 | – | – | Carbohidratos |
| 11 | 3-Furaldehído | – | 0,8 | – | – | Carbohidratos |
| 12 | Piridina, 4-metil- | 0,9 | 0,7 | – | – | Proteínas |
| 13 | Furano, 2,5-dimetil- | 6,9 | 4,2 | 4 | – | Carbohidratos |
| 14 | Isómero de 12 | 2,1 | 2,8 | 5,4 | – | Proteínas |
| 15 | Metilaurato | – | – | – | 9 | Ácido graso |
| 16 | <i>p</i> -Xileno | 3,2 | 4,6 | 5,4 | – | Aromático |
| 17 | Estireno | – | 4 | 4,4 | 27,5 | Aromático |
| 18 | Isómero de 16 | 2,9 | – | – | – | Aromático |
| 19 | Furano, 2,4-dimetil- | 1,3 | 0,5 | – | – | Carbohidratos |
| 20 | Etanona, 1-(2-furanil)- | – | 0,7 | – | – | Carbohidratos |
| 21 | 2,4-Hexadieno, 2,5-dimetil- | 2,2 | – | – | – | Lípidos |
| 22 | 2,5-Furandiona, 3-metil- | – | 0,7 | – | – | Carbohidratos |
| 23 | Etanona, 1-fenil- | – | 1,1 | – | – | |
| 24 | Furfural, 5-metil | 5,6 | – | – | – | Carbohidratos |
| 25 | Fenol | 13,5 | 23,7 | 31,4 | – | Aromático |
| 26 | Benzonitrilo | 5,8 | 4,5 | 4,5 | – | Proteínas |
| 27 | Benceno, 1,2,3-trimetil- | – | 1,2 | 2,4 | – | Aromático |
| 28 | Benzofurano | 2,1 | 2,1 | 2,4 | – | |
| 29 | 2-Metilenociclobutanona | 2,8 | 1,8 | – | – | |
| 30 | Isómero de 31 | – | 3 | 3 | – | Aromático |
| 31 | <i>p</i> -Cresol | 3,2 | 5,4 | 10,4 | – | Aromático |
| 32 | Guayacol | – | 0,8 | – | – | Lignina |
| 33 | Benzonitrilo, 4-metil- | 1,9 | 1,9 | 2,5 | – | Proteínas |
| 34 | Benzofurano, 2-metil- | 2,8 | – | – | – | Proteínas |
| 35 | Isómero de 33 | – | 2,5 | 3 | – | Proteínas |
| 36 | Isómero de 34 | 1,3 | 1,9 | – | – | Proteínas |
| 37 | 3-Acetoxipiridina | – | 1,2 | – | – | Proteínas |
| 38 | Fenol, 2,4-dimetil- | – | 0,8 | – | – | Aromático |
| 39 | Benzamida | – | 1,2 | – | – | Proteínas |
| 40 | Naftaleno | 1,5 | 1,7 | – | – | Aromático |
| 41 | Benzofurano, 2,3-dimetil- | – | 0,7 | – | – | Aromático |
| 42 | Isómero de 41 | – | 0,8 | – | – | Aromático |
| 43 | 1,3-Bencenodicarbonitrilo | 2,4 | – | – | – | Proteínas |
| 44 | 1 <i>H</i> -Inden-1-ona, 2,3-dihidro- | 1 | – | – | – | Aromático |
| 45 | Naftaleno, 2-metil- | – | 1,2 | – | – | Aromático |
| 46 | Ftalato | 2 | – | – | – | Contaminante |
| 47 | Bifenil | – | 0,5 | – | – | Aromático |
| 48 | 1,3-Isobenzofurandiona, 4-metil- | 0,9 | – | – | – | Aromático |
| 49 | 1 <i>H</i> -Isoindol-1,3(2 <i>H</i>)-diona, 2 metil- | – | 0,7 | – | – | Aromático |
| 50 | Dibenzofurano | – | 0,6 | – | – | Aromático |
| 51 | 4-(4-Metoxifenil) oxazol | – | 0,5 | – | – | Proteínas |
| 52 | Hexadecanonitrilo | – | – | – | 11,8 | Proteínas |

Las series de pares *n*-alcanos/alquenos (C₁₁-C₂₃) sólo se detectaron en la pirólisis de *Siete Lomas* y *Tabaibal de Rasca*. Dicha serie muestra una distribución bimodal, con un predominio de los compuestos de número impar de átomos de carbono hasta C₁₉ con máximo en C₁₅, y una segunda distribución desde C₂₀ con máximo en C₂₂ sin dominio claro de los compuestos par o impar. Esto indica un origen lipídico vegetal del material alquílico, así como la presencia de ceras vegetales en las fracciones fúlvicas de estos suelos. De nuevo sólo se detectan hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) (40, 45, 50) en suelos ándicos, reflejando un alto grado de madurez de las sustancias húmicas en estos suelos y, al menos en *Los Frailes*, el efecto del fuego y el quemado de la biomasa como posible origen.

VII.4. DISCUSIÓN

La distribución del carbono contenido en las distintas fracciones húmicas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, en los horizontes de los suelos estudiados, suministra una valiosa información acerca de los procesos de humificación en cada uno de ellos y revela importantes diferencias en función de su mayor o menor carácter ándico, las características particulares de cada zona de estudio y las perturbaciones a que se han visto sometidas.

En todos los suelos estudiados, la proporción de carbono humificado en forma de ácidos húmicos alcanza sus valores más altos en los horizontes superficiales, y disminuye drásticamente en los horizontes B, llegando a desaparecer en los suelos de la zona costera (Tabla VII.11). La proporción de ácidos fúlvicos tiende a mantenerse relativamente constante o bien a ser ligeramente mayor en los horizontes B. Por su parte, la fracción de huminas se incrementa en los horizontes B, salvo en la zona costera, donde disminuye con la profundidad. Según autores como Schnitzer & Skinner (1964) y McKeague (1968), la baja solubilidad de los ácidos húmicos en suelos de reacción neutra o ácida favorece su acumulación en los horizontes A junto a la materia orgánica no-humificada, mientras que los ácidos fúlvicos muestran una mayor movilidad que facilita su acumulación en los horizontes B.

En general la fracción humina representa en torno a un tercio del total de carbono orgánico del suelo, en concordancia con los resultados de otros autores (Almendros *et al.*, 1996). La fracción de humina heredada, compuesta principalmente por restos alterados de lignina más o menos ligados a la fracción mineral, es presumiblemente la dominante en la zona costera, y en los horizontes superficiales, donde suele constituir incluso más de la mitad del total de huminas (Almendros & González-Vila, 1987). En los suelos forestales estudiados, los horizontes profundos son los más ricos en huminas y pobres en ácidos húmicos, lo que apunta a la formación de huminas a partir de fracciones húmicas más simples. Esta variación con la profundidad ya ha sido descrita en Andosoles (Quantin *et al.*, 1985), y refleja la unión cada vez más estrecha de los compuestos húmicos con la materia mineral, y su progresiva condensación en moléculas de mayor tamaño y complejidad (Almendros & González-Vila, 1987; Almendros *et al.*, 1996).

En términos generales, los ácidos húmicos de los suelos estudiados se caracterizan por un predominio de las fracciones alquílicas, correspondiente a compuestos lipídicos, y aromáticas, derivadas sobre todo de compuestos aromáticos no-específicos, con alto grado de madurez,

frente a las señales carbonílicas, reflejo del grado de oxidación, y las O-alquílicas, procedentes de carbohidratos. Por su parte, los ácidos fúlvicos son ricos en carbohidratos, menos aromáticos y de un mayor grado de oxidación.

| Perfil | Profundidad (cm) | C-AH | C-AF | C-Huminas |
|--|------------------|------|------|-----------|
| TABAI BAL DE RASCA - Solonchak hipersálico / Haplosalid típico | | | | |
| AB _w | 0-22 | 0,05 | 0,11 | 0,83 |
| B _w | 22-35 | 0,00 | 0,74 | 0,26 |
| B _w C | 35-80 | 0,00 | 0,86 | 0,14 |
| MATORRAL DE RASCA - Solonetz háplico / Natrargid ácuico | | | | |
| B _w A | 0-22 | 0,03 | 0,17 | 0,80 |
| B _t | 22-55 | 0,00 | 0,65 | 0,35 |
| B _t C | 55-70 | 0,00 | 0,73 | 0,27 |
| LOS ACEVIÑOS - Andosol aluándico eutrosílico fúlvico / Fulvudand éutrico páchico | | | | |
| A ₁ | 5-25 | 0,47 | 0,40 | 0,13 |
| A ₂ | 25-70 | 0,37 | 0,35 | 0,28 |
| B _{w2} | 70->120 | 0,22 | 0,42 | 0,36 |
| LOS NORUEGOS - Andosol silándico eutrosílico fúlvico / Fulvudand páchico | | | | |
| A | 0-50 | 0,37 | 0,41 | 0,22 |
| B _w | 50->120 | 0,14 | 0,46 | 0,41 |
| PALOS PELADOS - Andosol aluándico eutrosílico fúlvico / Fulvudand últico | | | | |
| AB _w | 0-50 | 0,05 | 0,67 | 0,28 |
| B _t | 50-100 | 0,07 | 0,63 | 0,30 |
| PAJARITOS - Luvisol léptico / Haploxeralf lítico ándico | | | | |
| AB _w | 2-22 | 0,08 | 0,68 | 0,25 |
| B _t | 22-35 | 0,05 | 0,64 | 0,31 |
| RAVELO - Andosol silándico fúlvico / Fulvudand éutrico páchico | | | | |
| A ₁ | 5/10-23/28 | 0,43 | 0,36 | 0,21 |
| A ₂ | 23/28-69/74 | 0,37 | 0,41 | 0,22 |
| B _w | 69/74->120 | 0,21 | 0,35 | 0,44 |
| LOS FRAILES - Phaeozem lúvico / Argiustoll ándico | | | | |
| A | 0-35 | 0,31 | 0,30 | 0,39 |
| B _t | 35-100 | 0,02 | 0,35 | 0,63 |
| PINALITO - Cambisol léptico / Distroxerept lítico | | | | |
| A ₁ | 0-5 | 0,30 | 0,21 | 0,49 |
| A ₂ | 5-10 | 0,34 | 0,26 | 0,39 |
| B _w C | 10-45 | 0,19 | 0,28 | 0,54 |
| SIETE LOMAS - Andosol silándico fúlvico endoléptico / Haploxerand álfico húmico | | | | |
| A | 0-15 | 0,46 | 0,36 | 0,18 |
| B _t C | 15-50/100 | 0,22 | 0,45 | 0,33 |

Son muchas las señales que reflejan las bajas tasas de descomposición e incorporación de la materia orgánica en los suelos de la zona costera: una acumulación preferente de carbohidratos frente a la fracción lipídica en el suelo total; en general un bajo grado de oxidación de las sustancias húmicas; un enriquecimiento relativo en núcleos aromáticos, especialmente en los ácidos fúlvicos, y una especial abundancia de los marcadores de ligninas entre los ácidos húmicos; una desorción térmica intensa, que contrasta con la baja diversidad de los pirolizados, y que refleja el predominio de una materia orgánica poco estable, resultado de procesos de humificación directa.

Por su parte, el carácter ándico de los suelos se asocia a una transformación más rápida de los restos vegetales, evidente en la baja proporción de huminas en los horizontes superficiales, y

su enriquecimiento en los horizontes más profundos, indicando un carácter más recalcitrante de esta fracción, estrechamente ligada a la fracción mineral; una menor presencia de restos de lignina y una abundancia mayor en compuestos aromáticos no-específicos, con alto grado de madurez; y, en general, un alto grado de oxidación de las sustancias húmicas. También la riqueza de los pirolizados de los suelos ándicos en compuestos fácilmente identificables de diversos precursores biológicos, junto a su ausencia entre los productos de desorción, sugiere una rápida incorporación de metabolitos microbianos y vegetales a las fracciones húmicas, más estables.

Rasgos como la presencia de series de homólogos *n*-alcanos/alquenos en los pirolizados de los ácidos húmicos de todos los suelos, indican una alta alifaticidad de los compuestos, que podría atribuirse a la estabilización de biopolímeros alifáticos altamente resistentes, tanto de origen microbiano como procedentes de estructuras epicuticulares de plantas superiores, como ha sido documentado por numerosos autores (Nip *et al.*, 1986; de Leeuw & Largeau, 1993; Hartgers *et al.*, 1994). La aparición de pares alcano/alqueno entre los compuestos liberados a temperaturas sub-pirolíticas en el suelo de *Tabaibal de Rasca*, indica su presencia en formas débilmente unidas, resultado de una incorporación temprana menos eficiente de las estructuras alifáticas a los ácidos húmicos y fúlvicos.

Nuestros resultados acerca del secuestro órgano-mineral altamente eficiente de las sustancias alifáticas en los Andosoles concuerdan con los recientes de Naafs (2004), Peterse (2005) y Buurman *et al.* (2007) en cuanto a la riqueza de los Andosoles en unidades estructurales alifáticas, y contradicen el mecanismo tradicionalmente propuesto de estabilización de la materia orgánica en los Andosoles basado en la concentración de estructuras aromáticas. El predominio de los constituyentes aromáticos frente a los alifáticos parece representar en realidad un rasgo local, alternativo y bien conocido, de los Andosoles afectados por fuegos en épocas pasadas (Shindo *et al.*, 1986; Takahashi *et al.*, 1994; Golchin *et al.*, 1997a,b).

Los lípidos de origen vegetal de plantas superiores se caracterizan por la presencia de compuestos *n*-alcanos de cadena larga y con número impar de átomos de carbono en el rango C₂₃-C₃₃. Por su parte, la alteración microbiana da como resultado la acumulación acentuada de homólogos con número par de carbonos (Eglinton & Hamilton, 1987; Meyers & Ishiwatari, 1993). La presencia de componentes con número par de carbonos en las sustancias húmicas, indica su posible origen en la transformación y biodegradación de lípidos de plantas superiores (Almendros, 2008). No obstante, tal resultado debería interpretarse con precaución, al menos en los suelos de los pinares, dado que el impacto de antiguos incendios puede producir un efecto sistemático cambiando el número preferencial de carbonos de la serie alquílica a cerca de la unidad (Almendros *et al.*, 1988; González-Vila & Almendros, 2004; Dettweiler *et al.*, 2003). La distribución observada para los *n*-alcanos y la presencia de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de C₁₆ y C₁₈ de probable origen bacteriano, en los productos de desorción y de pirólisis de ácidos fúlvicos de los suelos de *Tabaibal de Rasca* y *Siete Lomas*, indican la presencia de componentes lipídicos de origen microbiano en la fracción lábil, menos estable, de la materia orgánica de estos suelos. En *Los Frailes* y *Ravelo*, estos productos sólo se observan en los pirolizados de los ácidos húmicos, reflejo de su presencia entre la materia húmica más estabilizada.

Las relaciones cuantitativas entre los contenidos de sustancias húmicas entre sí y respecto a otros componentes del suelo, suministran información acerca de su grado de evolución biogeoquímica, y sirven para diferenciar los distintos horizontes edáficos (Schnitzer & Gupta, 1964; Kononova, 1966; McKeague, 1968). La Tabla VII.12 recoge los valores-umbral característicos de horizontes A y B para algunas de estas relaciones: C-AH / C-AF, C-AF / C-total, C-pirofosfato / C-total, y $Fe_p + Al_p / C-AF$ (M).

Tabla VII.12. Valores-umbral de las proporciones de las fracciones húmicas del suelo para el diagnóstico de los horizontes genéticos A y B, según McKeague (1968)

| Horizonte | C-AH / C-AF | C_p / C_t | C-AF / Ct | $Fe_p + Al_p / C-AF$ (M) |
|-----------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|
| A | > 0,5 | < 0,5 | < 0,3 | < 3 |
| B | < 0,5 | > 0,5 | > 0,3 | > 3 |

Tabla VII.13. Valores de algunos índices utilizados en la identificación de horizontes del suelo

| Perfil | Profundidad (cm) | C-AH / C-AF | C_p / C_t | C-AF / Ct | $Fe_p + Al_p / C-AF$ (M) |
|---|------------------|-------------|-------------|-----------|--------------------------|
| TABAIBAL DE RASCA - Solonchak hipersálico / Haplosalid típico | | | | | |
| AB _w | 0-22 | 0,47 | - | 0,11 | - |
| B _w | 22-35 | 0,00 | - | 0,74 | - |
| B _w C | 35-80 | 0,00 | - | 0,86 | - |
| MATORRAL DE RASCA - Solonetz háplico / Natrargid ácuico | | | | | |
| B _w A | 0-22 | 0,18 | - | 0,12 | - |
| B _t | 22-55 | 0,00 | - | 0,65 | - |
| B _t C | 55-70 | 0,00 | - | 0,73 | - |
| LOS ACEVIÑOS - Andosol aluándico eutrosílico fúlvico / Fulvudand étrico páchico | | | | | |
| A ₁ | 5-25 | 1,19 | 0,31 | 0,33 | 2,3 |
| A ₂ | 25-70 | 1,05 | 0,44 | 0,33 | 6,9 |
| B _w | 70->120 | 0,53 | 0,58 | 0,45 | 5,8 |
| LOS NORUEGOS - Andosol silándico eutrosílico fúlvico / Fulvudand páchico | | | | | |
| A | 0-50 | 0,88 | 0,38 | 0,37 | 3,5 |
| B _w | 50->120 | 0,30 | 0,66 | 0,55 | 12,6 |
| PALOS PELADOS - Andosol aluándico eutrosílico fúlvico / Fulvudand últico | | | | | |
| AB _w | 0-50 | 0,07 | 0,51 | 0,68 | 3,6 |
| B _t | 50-100 | 0,11 | 0,74 | 0,71 | 7,0 |
| PAJARITOS - Luvisol léptico / Haploxeralf lítico ándico | | | | | |
| AB _w | 2-22 | 0,11 | 0,41 | 0,61 | 0,7 |
| B _t | 22-35 | 0,08 | 0,51 | 0,60 | 2,1 |
| RAVELO - Andosol silándico fúlvico / Fulvudand étrico páchico | | | | | |
| A ₁ | 5/10-23/28 | 1,21 | 0,45 | 0,35 | 5,9 |
| A ₂ | 23/28-69/74 | 0,91 | 0,41 | 0,40 | 7,7 |
| B _w | 69/74->120 | 0,61 | 0,52 | 0,39 | 5,0 |
| LOS FRAILES - Phaeozem lúvico / Argiustoll ándico | | | | | |
| A | 0-35 | 1,05 | 0,40 | 0,25 | 1,9 |
| B _t | 35-100 | 0,06 | 0,49 | 0,39 | 19,9 |
| PINALITO - Cambisol léptico / Distroxerept lítico | | | | | |
| A ₁ | 0-5 | 1,43 | 0,15 | 0,20 | 1,4 |
| A ₂ | 5-10 | 1,30 | 0,20 | 0,23 | 2,3 |
| B _w C | 10-45 | 0,67 | 0,54 | 0,26 | 7,0 |
| SIETE LOMAS - Andosol silándico fúlvico endoléptico / Haploxerand álfico húmico | | | | | |
| A | 0-15 | 1,29 | 0,38 | 0,30 | 2,7 |
| B _t C | 15-50/100 | 0,48 | 0,57 | 0,42 | 6,2 |

La Tabla VII.13 muestra los valores de estos índices en los horizontes de los suelos estudiados. Los resultados señalan al índice C-AH / C-AF como el de mayor valor diagnóstico de los horizontes A y B en los suelos estudiados. También el índice de complejación del

carbono (C-pirofosfato / C-total) y la proporción C-AF / C-total demuestran un elevado poder discriminante. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por McKeague (1968), que señala la utilidad de estos tres índices para distinguir los horizontes A de aquellos horizontes B con acumulación de materia orgánica.

Los horizontes A superficiales de los suelos de *Los Aceviños*, *Los Noruegos*, *Ravelo*, *Siete Lomas*, *Los Frailes* y *Pinalito* presentan valores elevados del cociente C-AH / C-AF (0,9-1,4), mientras que los horizontes B muestran valores mucho más bajos, menores a 0,7. Asimismo los índices C-pirofosfato / C-total y C-AF / C-total presentan valores significativamente mayores en los horizontes A que en los B.

Por otro lado, los horizontes superficiales de *Palos Pelados* y *Pajaritos* presentan valores de estos índices más propios de horizontes B (C-AH / C-AF \approx 0,1), pese a su posición en el perfil, su elevado contenido de materia orgánica, y a propiedades morfológicas como el color y la estructura que los asemejan a horizontes A (ver Secciones III.6 y III.7). Los suelos de *Palos Pelados* y *Pajaritos* presentan además los contenidos más elevados de formas lábiles de carbono y la mayor actividad descomponedora entre los suelos estudiados (Secciones V.4.3-V.4.6 y V.5.3.1-V.5.3.2), en consonancia con el elevado dinamismo biogeoquímico y los ciclos muy rápidos de nutrientes que algunos autores atribuyen a los suelos donde el índice C-AH / C-AF es bajo (Hernández, 2009). El predominio de los ácidos fúlvicos entre las sustancias húmicas de *Palos Pelados* y *Pajaritos* denota una complejación organo-mineral menos efectiva que en otros suelos ándicos como *Los Aceviños*, *Los Noruegos*, *Ravelo* y *Siete Lomas*, más ricos en ácidos húmicos en los horizontes superficiales y en huminas en los horizontes profundos, a pesar de presentar reservas de carbono de magnitud similar (Sección IV.5).

Los resultados sugieren la existencia, en épocas pasadas, de horizontes A en los suelos de *Palos Pelados* y *Pajaritos* por encima de los horizontes superficiales actuales, y que habrían sido desmantelados por la erosión coincidiendo con el desalojo de la vegetación original de monteverde de estas localidades. De acuerdo a nuestro criterio, el índice C-AH / C-AF constituye un valioso marcador biogeoquímico para la identificación de suelos decapitados por la erosión, y su aplicación puede ser de utilidad en los estudios dirigidos a evaluar la degradación de los suelos, particularmente de los Andosoles.

VIII. CONCLUSIONES

VIII. CONCLUSIONES

1. Los ecosistemas de vegetación arbórea desarrollada sobre Andosoles, en el ecosistema montano húmedo, son los que presentan las mayores reservas de carbono orgánico, con un promedio de 128 t ha⁻¹ en la vegetación, 2 t ha⁻¹ en la necromasa y 315 t ha⁻¹ en el suelo.
2. El almacenamiento de carbono en el suelo es casi siempre muy superior al de la vegetación, especialmente en los ecosistemas degradados (12,8 veces mayor de promedio) respecto a los maduros (2,3), debido a la pérdida más rápida de carbono que experimenta la biomasa vegetal respecto al suelo en respuesta a las perturbaciones. Se observan evidencias muy claras de este comportamiento en los suelos ándicos bajo fayal-brezal arbóreo, brezal arbustivo y escobonal.
3. Los horizontes edáficos superficiales conforman la porción más importante y activa del suelo, conteniendo más de la mitad del total de carbono del suelo y de raíces. La actividad biológica y el reciclado de nutrientes se concentran especialmente en los primeros 15 cm, evidentes en una microbiota más activa (mayor flujo de CO₂ y actividad de la enzima deshidrogenasa) y una mayor actividad descomponedora (enzimas celulasa y glucosidasa), respectivamente.
4. Las fracciones de carbono consideradas como más activas o lábiles (carbono ligado a la biomasa microbiana, soluble en sulfato potásico, soluble del suelo fresco, soluble en agua caliente y disuelto en el extracto saturado del suelo) son las que muestran un mayor dinamismo temporal. Las fracciones solubles del suelo fresco y las disueltas en el extracto saturado son las que más fácilmente se mineralizan, mientras que el carbono soluble en agua caliente constituye el estimador más fiable del contenido total de carbono potencialmente mineralizable de los suelos. Por su parte, el carbono en formas complejadas se caracteriza por su estatismo, relacionado con su carácter pasivo o lentamente oxidable, y sus valores elevados, de un 40-50%, reflejan la complejación de la materia orgánica con los minerales del suelo.
5. En términos generales, los ácidos húmicos de los suelos estudiados se caracterizan por un predominio de las fracciones alquílicas, correspondiente a compuestos lipídicos, y aromáticas, derivadas sobre todo de compuestos aromáticos no-específicos, con alto grado de madurez, frente a las señales carbonílicas, reflejo del grado de oxidación, y las O-alquílicas, procedentes de carbohidratos. Por su parte, los ácidos fúlvicos son ricos en carbohidratos, menos aromáticos y de un mayor grado de oxidación.
6. Entre los suelos estudiados, los Andosoles son los que muestran una mayor eficiencia como sumideros de carbono: los restos vegetales se transforman e incorporan al suelo muy rápidamente, generando sustancias húmicas con un alto grado de estabilidad biogeoquímica, apreciándose escasos restos de lignina y abundantes compuestos aromáticos no-específicos, con alto grado de madurez, desde los horizontes más superficiales del suelo.
7. La aridez reinante en el ecosistema costero se traduce en una vegetación de carácter suculento, escasa cobertura y una biomasa muy baja. Las entradas de carbono al suelo a

través de la hojarasca son escasas y discontinuas, la microbiota edáfica es poco abundante y la actividad descomponedora es muy baja (la actividad celulasa es incluso indetectable), dando como resultado una materia orgánica escasa y con una incorporación al suelo poco eficiente. Existen numerosas evidencias de ello: una acumulación preferente de carbohidratos frente a la fracción lipídica en el suelo total; en general un bajo grado de oxidación de las sustancias húmicas; un enriquecimiento relativo en núcleos aromáticos, especialmente en los ácidos fúlvicos, y una especial abundancia de los marcadores de ligninas entre los ácidos húmicos; y una desorción térmica intensa, que contrasta con la baja diversidad de los pirolizados, y que refleja el predominio de una materia orgánica poco estable, resultado de procesos de humificación directa. El contenido de carbono inorgánico muestra cierta movilidad de carácter cíclico estacional ligada a los ascensos y descensos de los frentes de humectación en el suelo. La degradación de la vegetación se asocia a una reducción del contenido de carbono orgánico del suelo, resultado de una hojarasca de menor calidad y de una intensificación de los procesos erosivos, que remueven selectivamente la fracción textural fina, donde está contenida la mayor parte del carbono; y de la degradación de la estructura, que afecta al desarrollo radicular y a la actividad biológica.

8. El ecosistema montano húmedo es el que presenta las mayores reservas de carbono y un mayor dinamismo biológico. Los suelos son muy ricos en todas las formas de carbono orgánico: la abundancia de formas lábiles se relaciona con la humedad constante y con el aporte de hojarasca rica en tejidos no-lignificados durante todo el año; la riqueza en sustancias húmicas se ve promovida por la abundancia de minerales amorfos, responsables de la formación de complejos estables con la materia orgánica del suelo. Los suelos que sustentan una vegetación próxima a la madurez reciben mayores aportes de hojarasca y la descomposición puede ser muy rápida, concentrándose en los primeros centímetros del suelo e incluso en el mantillo, lo que permite una rápida incorporación del carbono a la fracción textural fina. En las localidades con vegetación regresiva, los aportes son significativamente más bajos, la descomposición es menor debido a la naturaleza predominantemente esclerófila de la hojarasca y se extiende a una mayor profundidad en el suelo, reflejándose en una mayor actividad descomponedora en los distintos horizontes y una mayor riqueza en compuestos lábiles de carbono.
9. En el ecosistema montano seco, las entradas de carbono al suelo en forma de hojarasca son de una magnitud similar a las del monteverde, aunque su carácter esclerófilo les confiere una menor calidad y una menor descomposición. En el matorral de sustitución de leguminosas los aportes son muy ricos en nutrientes, en particular formas de nitrógeno de bajo peso molecular de tipo amida, que favorecen su rápida descomposición. Los suelos de este ecosistema muestran contenidos variables de carbono, con distinto grado de humificación, en función de su mayor o menor carácter ándico, pero siempre menores a los de los suelos del monteverde. Los suelos bajo pinar xérico muestran un alto grado de degradación, relacionado con la alta incidencia de incendios (evidente en la abundancia de formas piromórficas no-oxidables de carbono) y la intensa erosión hídrica, que ha desmantelado en buena medida los horizontes superficiales. Los suelos ándicos bajo una vegetación de leguminosas pueden conservar

reservas altas de carbono, pese a sufrir procesos severos de erosión hídrica relacionados con la degradación de la cubierta vegetal.

10. Los reservorios de carbono en los suelos son susceptibles de experimentar variaciones significativas en periodos de tiempo tan cortos como de sólo un par de años. Los suelos de todos los ecosistemas estudiados muestran una tendencia significativa a reducir su contenido de carbono orgánico durante el periodo de estudio, que atribuimos fundamentalmente a una intensa pérdida de CO₂ a través de la respiración del suelo y, en menor medida, a procesos erosivos. La reducción afecta en mayor medida a los suelos que sustentan ecosistemas próximos a la madurez, mientras que en los suelos de los ecosistemas en proceso de activa regeneración natural se ve parcialmente enmascarada por la tendencia al secuestro de carbono característica de la sucesión ecológica progresiva. En los suelos de la zona costera las pérdidas afectan a casi todas las formas de carbono, predominantemente lábiles. En el ecosistema montano seco la pérdida se produce sobre todo a costa de las formas complejadas y, en menor proporción, de formas solubles; al contrario de lo observado en el ecosistema montano húmedo, en donde permanecen relativamente estables las formas humificadas, secuestradas en complejos organo-minerales.
11. Determinados índices basados en la proporción relativa de las distintas fracciones de carbono, particularmente el cociente C-AH / C-AF, presentan diferencias marcadas entre los horizontes A y B y sirven como criterio diagnóstico para distinguirlos. La decapitación de los suelos forestales como consecuencia de los procesos erosivos convierte al índice C-AH / C-AF en un valioso marcador biogeoquímico para la identificación de suelos erosionados.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- ACEBES GINOVÉS, J.R., M. DEL ARCO AGUILAR, A. GARCÍA GALLO, M. C. LEÓN ARENCIBIA, P.L. PÉREZ DE PAZ, O. RODRÍGUEZ DELGADO, W. WILDPRET DE LA TORRE, V.E. MARTÍN, M.C. MARRERO & M.L. RODRÍGUEZ (2004). División Pteridophyta, Spermatophyta. En: I. Izquierdo, J.L. Martín, N. Zurita & M. Arechavaleta (Eds.). *Lista de especies silvestres de Canarias (hongos, plantas y animales terrestres) 2004*. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial, Gobierno de Canarias. Pp. 96-143.
- ACHARD, F.K. (1786). Chemische untersuchungen des torfs. *Crell's Che. Ann.* 2: 391-403.
- ADAMS, J. (2002). *An inventory of data for reconstructing "natural steady state" carbon storage in terrestrial ecosystems*. INQUA Terrestrial Carbon Commission.
- AERTS, R., F. BERENDSE, N.M. KLERK & C. BAKKAR (1989). Root production and root turnover in two dominant species of wet heathlands. *Oecologia* 81: 374-378.
- AGUILERA, M., G. BORIE, P. ROKOV & P. PEIRANO (1988). Bioquímica de suelos derivados de cenizas volcánicas. VII. Determinación de deshidrogenasas. *Agricultura Técnica* (Chile) 48: 147-151.
- AGUILERA KLINK, F., A. BRITO HERNÁNDEZ, C. CASTILLA GUTIÉRREZ, A. DÍAZ HERNÁNDEZ, J.M. FERNÁNDEZ-PALACIOS, A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, F. SABATÉ BEL & J. SÁNCHEZ GARCÍA (1994). *Canarias. Economía, ecología y medio ambiente*. Francisco Lemus (Ed.). La Laguna, Tenerife, España.
- ALMENDROS, G. (2008). Carbon sequestration in soils. En: W. Chesworth (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. Springer. Dordrecht, Berlin. Pp. 97-99.
- ALMENDROS, G. & J. DORADO (1999). Structural factors related to the biodegradability of laboratory-modified humic acid preparations. *European Journal of Soil Science* 50: 227-236.
- ALMENDROS, G. & F.J. GONZÁLEZ-VILA (1987). Degradative studies on a soil humin fraction. Sequential degradation of inherited humin. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 513-520.
- ALMENDROS, G. & J. SANZ (1991). Structural study on the soil humin fraction-boron trifluoride-methanol transesterification of soil humin preparations. *Soil Biology and Biochemistry* 23: 1147-1154.
- ALMENDROS, G. & J. SANZ (1992). A structural study of alkyl polymers in soil after perborate degradation of humin. *Geoderma* 53: 79-95.
- ALMENDROS, G., A. POLO & E. DORADO (1982). Fraccionamiento y caracterización de la materia orgánica de la turbera de Mazagón. *Anales INIA* 18: 29-42.
- ALMENDROS, G., F. MARTIN & F.J. GONZÁLEZ-VILA (1988). Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain. *Geoderma* 42: 115-127.
- ALMENDROS, G., M.E. GUADALIX, F.J. GONZÁLEZ-VILA & F. MARTIN (1996). Preservation of aliphatic macromolecules in soil humins. *Organic Geochemistry* 24: 651-659.

- AMUNDSON, R.G., O.A. CHADWICK & J.M. SOWERS (1989). A comparison of soil climate and biological activity along an elevational gradient in the eastern Mojave Desert. *Oecologia* 80: 395-400.
- ANDERSON, D.W. (1995). Decomposition of Organic Matter and Carbon Emissions from Soils. En: R. Lal, J. Kimble, E. Levine & B.A. Stewart (Eds.). *Soils and Global Change*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL. Pp. 165-175.
- ANDERSON, D.W., S. SAFFAR, J.R. BETTANY & J.W.B. STEWART (1981). Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur. *Soil Science Society of America Journal* 45: 67-72.
- ANDERSON, J.M. (1991). The effect of climate change on decomposition processes in grassland and coniferous forests. *Ecological Applications* 1: 326-347.
- ANDERSON, J.M. & M.J. SWIFT (1983). Decomposition in tropical forest. En: S.L. Sutton, T.C. Whitmore & A.C. Chadwick (Eds.). *Tropical Rain Forest: Ecology and Management*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Pp. 287-309.
- AOYAMA, M., D.A. ANGERS & A. N'DAYEGAMIYE (1999). Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 295-302.
- APPS, M.J. & D.T. PRICE (1995). *Forest Ecosystem, Forest Management, and Global Carbon Cycle*. Springer-Verlag. Berlin.
- ARBELO, C.D., A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J.A. GUERRA & J.L. MORA (2002). Calidad del suelo y sucesión vegetal en andosoles forestales de las Islas Canarias. *Edafología* 9 (1): 31-38.
- ARBELO, C.D., J.L. MORA, A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J.S. NOTARIO, J.A. GUERRA & C.M. ARMAS (2006). Evaluation of Human-Induced Degradation of Forest Andosols as a Diagnostic Criterion to Restore Laurel Forest: A Case Study in La Gomera, Canary Islands, Spain. En: J.A. Martínez-Casanovas, I. Pla Sentís, M.C. Ramos Martín y J.C. Balasch Solanes (Eds.). *Soil and Water Conservation under Changing Land Use*. Ediciones de la Universidad de Lleida, España. Pp. 197-200.
- ARNOLD, R.W., I. SZABOLCS & V.O. TARGULIAN (1990). *Global Soil Change*. IASA-ISSS-UNEP Report. Budapest, Hungría.
- BAKER, T.G., P.M. ATTIWILL & H.T.L. STEWART (1984). Biomass equations for *Pinus radiata* in Gippsland, Victoria, New Zealand. *Journal of Forestry Science* 14: 89-96.
- BALAIRÓN, L. (Coord.) (2000). *El Cambio Climático*. El Campo nº 137, Servicio de Estudios del BBVA.
- BALDOCK, J.A., J.M. OADES, A.G. WATERS, X. PENG, A.M. VASSALLO & M.A. WILSON (1992). Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid state ¹³C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry* 16: 1-42.

- BALDOCK, J.A., J.M. OADES, P.N. NELSON, T.M. SKENE, A. GOLCHIN & P. CLARKE (1997). Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using soil-state ^{13}C NMR spectroscopy. *Australian Journal of Soil Research* 35: 1061-1083.
- BALESDENT, J. (1996). The significance of organic separates to carbon dynamics and its modelling in some cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 47: 485-493.
- BARAHONA, E. (1984). Determinación de carbonatos totales y caliza activa. En: *Actas del I Congreso Nacional de Ciencia del Suelo. Grupo de Trabajo de Normalización de Métodos Analíticos*. Pp. 53-67.
- BARDGETT, R.D. (2005). *The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach*. Oxford University Press, EEUU.
- BARTON, D.H.R. & M. SCHNITZER (1963). A new experimental approach to the humic acid problem. *Nature* 1989: 217-218.
- BATJES, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the World. *European Journal of Soil Science* 47: 151-163.
- BATJES, N.H. (1999). *Management Options for Reducing CO₂ Concentrations in the Atmosphere by Increasing Carbon Sequestration in the Soil*. Dutch National Research Programme on Global Air. Pollution and Climate Change & Technical Paper 30. 410-200-031. Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.
- BENTON JONES, J.R. (1991). *Kjeldahl method for nitrogen determination*. Micro-Macro Publishing. Georgia, EEUU.
- BERNARDS, M.A., M.L. LÓPEZ, J. ZAJICEK & N.G. LEWIS (1995). Hydroxycinnamic Acid-derived Polymers Constitute the Polyaromatic Domain of Suberin. *Journal of Biological Chemistry* 270: 7382-7386.
- BEYER, L., H.R. SCHULTEN, R. FRUEND & U. IRMLER (1993). Formation and properties of organic matter in a forest soil as revealed by its biological activity, wet chemical analysis, CPMAS ^{13}C NMR spectroscopy, and pyrolysis-field ionization mass spectrometry. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 587-596.
- BLAKE, G.R. (1965). Bulk density. En: C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger & F.E. Clark (Eds.) *Methods of soil analysis. Part II: Chemical and microbiological properties*. Agronomy Monograph N° 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 374-390.
- BLAKEMORE, L.C., P.L. SEARLE & B.K. DALY (1981). *Soil Bureau laboratory methods. A. Methods for chemical analysis of soils*. New Zealand Soil Bureau Scientific Report 80. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Lower Hutt, Nueva Zelanda.
- BLANCO ANDRAY, A., M. CASTROVIEJO BOLIBAR, J.L. FRAILE SÁNCHEZ, J.M. GANDULLO GUTIÉRREZ, L.A. MUÑOZ DE LA FUENTE & O. SÁNCHEZ PALOMARES (1989). *Estudio ecológico del pino canario*. ICONA. Serie Técnica n°6. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España.

- BLUM, W.E.H. (1998). Basic Concepts: Degradation, Resilience and Rehabilitation. En: R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine & B.A. Stewart (Eds). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. Pp. 1-16.
- BLUM, W.E.H. (2002). Soil Quality Indicators Based on Soil Functions. En: J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (Eds.). *Man and Soil at the Third Millennium*, Vol. I. Geoforma Ediciones, S.L. Logroño. Pp. 149-151.
- BOCKHEIM, J.G., E.A. JEPSEN & D.M. HESEY (1991). Nutrient dynamics in decomposing leaf litter of four tree species on a sandy soil in northwestern Wisconsin. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 803-912.
- BOLAN, N.S., S. BASKARAN & S. THIAGARAJAN (1996). An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges and stream water. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27: 2723-2737.
- BOUDOT, J.P., B.A. BEL HADJ & T. CHONE (1986). Carbon mineralization in andosols and aluminium-rich highland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 18: 457-461.
- BOUWMAN, A.F. & R. LEEMANS (1995). The Role of Forest Soils in the Global Carbon Cycle. En: W.W. McFee & J. M. Kelly (Eds.). *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. SSSA Inc. Madison, WI, USA. Pp.503-525.
- BOWER, C.A. & L.V. WILCOX (1965). Soluble salts. En: C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White. L.E. Ensminger & F.E. Clark (Eds.). *Methods of soil analysis. Part II: Chemical and microbiological properties*. Agronomy Monograph N° 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 933-951.
- BOWER, C.A., F.F. REITEMEIER & M. FIREMAN (1952). Exchangeable cation analysis of alkaline and saline soil. *Soil Science* 73: 251-261.
- BUNNELL, F., D. TAIT, P.W. FLANAGAN & K. VAN CLEVE (1977). Microbial respiration and substrate weight-loss. 1. General model of influences of abiotic variables. *Soil Biology and Biochemistry* 9: 33-40.
- BUÑUEL GONZÁLEZ, M., M. CORRALES RODRIGÁÑEZ & J. MERCHÁN RUBIO (2000). La actualidad del tratamiento internacional del problema del cambio climático: La Cumbre de La Haya. En: *El Cambio Climático*. El Campo n° 137. Servicio de Estudios del BBVA. Pp. 503-520.
- BURFORD, J.R. & J.M. BREMNER (1975). Relationships between the denitrification capacities of soils and total, water-soluble and readily decomposable soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 7: 389-394.
- BURNS, R.G. (1978). *Soil Enzymes*. Academic Press, London.
- BURT, R. (Ed.) (2004). *Soil Survey Laboratory Methods Manual*. Soil Survey Investigations Report N° 42. Version 4.0. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture.
- BUURMAN, P., R. ROSCOE & F. DE ALCANTARA (2004). Carbon sequestration research in brazilian savannah systems: problems and results. *Edafología* 11 (2): 157-170.

- BUURMAN, P., F. PETERSE & G. ALMENDROS (2007). Soil organic matter chemistry in allophanic soils: A pyrolysis-GC/MS study of a Costa Rican Andosol catena. *European Journal of Soil Science* 58: 1330-1347.
- BUYANOVSKY, G.A., M. ASLAM & G.H. WAGNER (1994). Carbon turnover in soil physical fractions. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1167-1173.
- CADISH, G. & K.E. GILLER (1997). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*. Wallingford: CAB Int..
- CAMBARDELLA, C.A. & E.T. ELLIOT (1993). Carbon and nitrogen in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1071-1076.
- CAMIÑA, F.C., TRASAR-CEPEDA, F. GIL-SOTRES & C. LEIRÓS (1997). Measurement of dehydrogenase activity in acid soils rich in organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1005-1011.
- CANADELL, J. & L. LÓPEZ SORIA (1998). Lignotuber reserves support regrowth following clipping of two Mediterranean shrubs. *Functional Ecology* 12: 31-38.
- CANFIELD, R. (1941). Application of line intercept method in sampling range vegetation. *Journal of Forestry* 39: 288-394.
- CARRACEDO, J.C. (1984). El relieve volcánico. En: L. Afonso (Ed.). *Geografía de Canarias I. Interinsular Canaria*. Santa Cruz de Tenerife. Pp. 66-104.
- CASIDA, JR., L.E. (1977). Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. *Applied Environmental Microbiology* 34: 630-636.
- CATROUX, G. & M. SCHNITZER (1987). Chemicals, spectroscopic and biological characterization of the organic matter in particle size fractions separated from an Aquoll. *Soil Science Society of America Journal* 51: 1200-1207.
- CCD (1996). *Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación*. Versión española de la AECI.
- CEBALLOS, L. & F. ORTUÑO (1976). *Vegetación y flora forestal de las Canarias Occidentales*. Cabildo Insular de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife, España.
- CHAPMAN, S.B. (1986). Production Ecology and Nutrient Budgets. En: P.D. Moore & S.B. Chapman (Eds.). *Methods in Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Pp. 1-59.
- CHARPENTIER, M. (1968). Dégradation de la cellulose dans le sol. Mécanismes enzymatiques (Rapport general). *Annales de l'Institut Pasteur* 115: 487-537.
- CHEN, C.R., Z.H. XU, S.L. ZHANG & P. KEAY (2005). Soil organic nitrogen pools in forest soils of Subtropical Australia. *Plant & Soil* 277(1-2): 285-297.
- CHRISTENSEN, B.T. (1987). Decomposability of organic matter in particle size fractions from field soils with straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 429-435.

- CHRISTENSEN, B.T. (1992). Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. En: B.A. Stewart (Ed.). *Advances in Soil Science* 20 Springer Verlag. New York. Pp. 2-90.
- CHRISTENSEN, B.T. (1996). Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. En: D.S. Powlson, P. Smith & J.U. Smith (Eds.). *Evaluation of Soil Organic Matter Models: Using existing Long-term Datasets*. Springer, New York. Pp. 143-159.
- CHRISTENSEN, B.T. (2001). Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science* 52: 345-353.
- CLIMENT MALDONADO, J., L. GIL SÁNCHEZ & M. DE TUERO Y DE REYNA (1996). *Las regiones de procedencia de Pinus canariensis Chr. Sm. ex DC*. ICONA-MAPA. Madrid, España.
- CONANT, R.T., J.M. KLOPATEK, R.A. MALIN & C.C. KLOPATEK (1998). Carbon pools and fluxes along a semiarid gradient in northern Arizona. *Biogeochemistry* 43: 43-61.
- CONANT, R.T., J.M. KLOPATEK & C.C. KLOPATEK (2000). Environmental factors controlling soil respiration in three semiarid ecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 64: 383-390.
- COXON, D.S. & D. PARKINSON (1987). Winter respiratory activity in Aspen woodland forest floor litter and soils. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 49-59.
- COYNE, M. (2000). *Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*. Editorial Paraninfo. Madrid, España.
- DAVIDSON, E.A., L.F. GALLOWAY & M.K. STRAND (1987). Assessing available carbon: comparison of techniques across selected forest soils. *Communications in Soil Science and Plant Analyses* 18: 45-64.
- DAVIDSON, E.A., L.V. VERCHOT, J.H. CATTÂNIO, I.L. ACKERMAN & J.E.M. CARVALHO (2000). Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry* 48: 53-69.
- DEBAL, E., M. KOLOSKY, S. PEYNOT & M. REVAULT (1978). Remarques sur le microlosage du bore et du germinanium dans les composés organiques et minéraux. *Talanta* 26 (1): 75-79.
- DEL ARCO AGUILAR, M.J., A. MARRERO RODRÍGUEZ, P. OROMÍ MASOLIVER, O. RODRÍGUEZ DELGADO & F.J. GONZÁLEZ ARTILES (1997). Hábitats de Canarias: monteverde, pinares y alta montaña. En: P.L. Pérez de Paz (Ed.). *Máster en Gestión Ambiental. Ecosistemas Insulares Canarios. Usos y aprovechamientos en el territorio*. Vol. I. Gobierno de Canarias, ULPCG-ULL-Gesplan-Fondo Social Europeo. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 217-227.
- DEL ARCO AGUILAR, M.J., W. WILDPRET DE LA TORRE, P.L. PÉREZ DE PAZ, O. RODRÍGUEZ DELGADO, J.R. ACEBES GINOVÉS, A. GARCÍA GALLO, V.E. MARTÍN OSORIO, J. S. REYES BETANCORT, M. SALAS PASCUAL, M.A. DÍAZ,

- J.A. BERMEJO DOMÍNGUEZ, R. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, M.V. CABRERA LACALZADA & S. GARCÍA ÁVILA (2006). *Mapa de Vegetación de Canarias*. GRAFCAN. Santa Cruz de Tenerife, España.
- DE LEEUW, J.W. & C. LARGEAU (1993). A review of macromolecular organic compounds that comprise living organism and their role in kerogen, coal and petroleum formation. En: M.H. Engel & S.A. Macko (Eds.). *Organic Geochemistry. Principles and Applications*, Vol. 2. Plenum Press. New York. Pp. 23-72.
- DETTWEILER, C., H. KNICKER, F.J. GONZÁLEZ-VILA & G. ALMENDROS (2003). Monitoring the fire impact on soil through chromatographic analysis of the lipid fraction. *Proceedings of the third Scientific Meeting of the Spanish Society of Chromatography and Related Techniques*. Almería.
- DETWILER, R.P. & C.A.S. HALL (1988). Tropical forest and the global carbon cycle. *Science* 239: 42-47.
- DÍAZ PINEDA, F. (2000). El ciclo del carbono en el globo. En: *El Cambio Climático*. El Campo nº 137. Servicio de Estudios del BBVA. Pp. 111-140.
- DICK, R.P., D.P. BREAKWELL & R.F. TURCO (1996). Soil Enzyme Activities and Biodiversity. Measurements as Integrative Microbiological Indicators. En: A.J. Jones & J.W. Doran (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. Madison, Wisconsin. Pp. 247-271.
- DOYLE, J., R. PAVEL, G. BARNES & Y. STEINBERGER (2006). Cellulase dynamics in a desert soil. *Soil Biology and Biochemistry* 38 (2): 371-376.
- DRINKWATER, L.E., C.A. CAMBARDELLA, J.D. REEDER & C.W. RICE (1996). Potentially mineralizable nitrogen as an indicator of biologically active soil nitrogen. En: A.J. Jones & J.W. Doran (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. Madison, Wisconsin. Pp. 217-229.
- DUCHAUFOR, P. (1984). *Edafología 1: Edafogénesis y clasificación*. Masson. Barcelona.
- DUCHAUFOR, P. & F. JACQUIN (1966). Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. *Bulletin de l'Ecole National Supérieur de Nancy* 8 (1): 1-24.
- DUCHAUFOR, P. & F. JACQUIN (1975). Comparaison des processus d'humification Dans les principaux types d'humus forestiers. *Bull. A.F.E.S.* 1: 29-36.
- DUPUIS, T. & P. JAMBU (1969). Etude par spectroscopie infrarouge des produits de l'humification en milieu hydromorphe calcique. *Science du Sol* 1: 23-35.
- DUXBURY, J.M., M.S. SCOTT, J.W. DORAN, C. JORDAN, L. SZOTT & E. VANCE (1989). Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. En: D.C. Coleman, J.M. Oades & G. Uehara (Eds.). *Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems*. University of Hawaii Press, Honolulu. Pp. 33-67.
- EDMONDS, J.A. (1999). Beyond Kyoto: Toward a technology greenhouse strategy. *Consequences* 5: 17-28.

- EGLINTON, G. & R.J. HAMILTON (1987). Leaf epicuticular waxes. *Science* 156: 1322-1335.
- EGLINTON, G. & G.A. LOGAN (1991). *Molecular preservation*. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 333: 315-328.
- EIVAZI, F. & M.A. TABATABAI (1988). Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 601-606.
- EIVAZI, F. & M.A. TABATABAI (1990). Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 891-897.
- ELLERT, B.H. & E.G. GREGORICH (1995). Management-induced changes in the actively cycling fractions of soil organic matter. En: W.W. McFee & J.M. Kelly (Eds.). *Carbon Forms and functions in Forest Soils*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin. Pp. 119-138.
- ELLIOT, E.T. (1986). Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal* 50: 627-633.
- EPICA (2004). EPICA Community Members, Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* 429: 623-628.
- ESWARAN, H., E. VAN DEN BERG & P. REICH (1993). Organic carbon in soils of the World. *Soil Science Society of America Journal* 57: 192-194.
- ESWARAN, H., E. VAN DEN BERG, P. REICH & J. KIMBLE (1995). Global Soil Carbon Resources. En: R. Lal, J. Kimble, E. Levine & B.A. Steward (Eds.). *Soils and Global Change*. Advances in Soil Science. CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU. Pp. 27-43.
- ETHERIDGE, D.M., L.D. STEELE, R.L. LANGENFELDS, R.J. FRANCEY, I.M. BARNOLA & V.I. MORGAN (1996). Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 10.000 years from air in Atlantic ice and fern. *Journal of Geophysical Research*. 101: 4115-4128.
- EVANS, J.L., I.J. FERNÁNDEZ, L.E. RUSTAD & S.A. NORTON (2001). *Methods for Evaluating Carbon Fractions in Forest Soils: A Review*. Technical Bulletin 178. Agricultural and Forest Experiment Station. University of Maine.
- FAO (2001). *Soil Carbon Sequestration for Improved Land Management*. World Soil Resources Report, 96. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma.
- FAO (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. World Soil Resources Reports n° 102, FAO, Roma.
- FARMER, V.C. & R.I. MORRISON (1960). Chemical and infrared studies on phragmites peat and its humic acids. *Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society, Series A*, 1: 85-104.
- FELLER, C. & M.H. BEARE (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79: 69-119.
- FENGEL, D. & G. WEGENER (1984). *Wood. Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter. Berlín.

- FERNÁNDEZ-CALDAS, E., M.L. TEJEDOR & A. RODRÍGUEZ (1978). Suelos de las Islas Canarias. Ecología, distribución geográfica y características. *Anuario de Estudios Atlánticos* 24: 617-650.
- FERNÁNDEZ-CALDAS, E., M.L. TEJEDOR & P. QUANTIN (1982). *Suelos de regiones volcánicas. Tenerife. Islas Canarias*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de La Laguna-CSIC, Colección Viera y Clavijo IV. Santa Cruz de Tenerife, España.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, A.B. (1990). Garajonay: origen y restauración de las áreas alteradas del Parque. En: P.L. Pérez de Paz (Ed.). *Parque Nacional de Garajonay Patrimonio Mundial*. ICONA- Cabildo Insular de La Gomera. Madrid, España. Pp. 239-253.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, A.B. (2001). Conservación y restauración ecológica de los bosques. En: J.M. Fernández-Palacios & J.L. Martín Esquivel (Eds.). *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*. Publicaciones Turquesa. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 375-382.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M. (1999). Marco ecológico de las Islas Canarias. En: J.M. Fernández-Palacios, J.J. Bacallado & J.A. Belmonte (Eds.). *Ecología y Cultura en Canarias*. Organismo Autónomo de Museos de Tenerife. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 83-105.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M. & A. DE LOS SANTOS (1996). *Ecología de las Islas Canarias. Muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. Sociedad La Cosmológica. Santa Cruz de La Palma, España.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M. & J.L. MARTÍN ESQUIVEL (2001). Las Islas como experimento de laboratorio. En: J.M. Fernández-Palacios & J.L. Martín Esquivel (Eds.). *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*. Turquesa Ediciones. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 39-44.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M., J. GARCÍA, R. LÓPEZ & C. LUZARDO (1991). Aproximación a la estima de la biomasa y producción primaria neta aérea en una estación de la laurisilva tinerfeña. *Vieraea* 20: 11-20.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M., R. LÓPEZ, J. GARCÍA, & C. LUZARDO (1992). Descripción e interpretación ecológica de las diferencias entre el matorral de costa y cumbre en Tenerife. *Botánica Macaronésica* 19-20: 87-104.
- FISHER, R.F. (1995). Soil Organic Matter: Clue or Conundrum?. En: *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. W.W. McFee & J.M. Kelly (Eds.). SSSA Inc. Madison, WI, USA. Pp.1-11.
- FOLLETT, R.F. (2001). Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soils & Tillage Research* 61: 77-92.
- FOLLETT, R.F., J.M. KIMBLE & R. LAL (2001). *The potential of US grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL, USA.

- FORSYTH, W.G.C. (1947). Studies on the more soluble complexes of soil organic matter. *Biochemical Journal* 41 (2): 176-181.
- FRANKS, C.D., J.M. KIMBLE, S.E. SAMSON-LIEBIG & T.M. SOBECKI (2001). Organic Carbon Methods, Microbial Biomass, Root Biomass and Sampling Design under Development by NRCS. En: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follet & B.A. Stewart (Eds.). *Assessment, Methods for Soil Carbon. Advances in Soil Science*. CRC Press, Lewis Publishers. Pp. 105-113.
- GALLARDO, A. & W.H. SCHLESINGER (1994). Factors limiting microbial biomass in the mineral soil and forest floor of a warm-temperate forest. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1409-1415.
- GANDULLO, J.M. (Dir) (1991). *Estudio ecológico de la laurisilva canaria*. Colección Técnica, ICONA-MAPA. Madrid, España.
- GARCÍA ÁLVAREZ, A. (2003). Determinación de las actividades celulasa e invertasa del suelo. En: C. García, F. Gil, T. Hernández & C. Trasar (Eds.). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España. Pp. 149-167.
- GARCIA IZQUIERDO, C. & T. HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ (2003). Introducción. En: C. García, F. Gil, T. Hernández & C. Trasar (Eds.). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España. Pp. 7-21.
- GARCÍA IZQUIERDO, C., F. GIL SOTRES, T. HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ & C. TRASAR-CEPEDA (Eds.) (2003). *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España.
- GARCÍA-TALAVERA, F. (1999). La Macaronesia. Consideraciones geológicas, biogeográficas y paleoecológicas. En: J.M. Fernández-Palacios, J.J. Bacallado, & J.A. Belmonte (Eds.). *Ecología y Cultura en Canarias*. Pp. 39-64.
- GEE, G.W. & J.W. BAUDER (1986). Particle size-analysis. En: A. Klute (Ed.) *Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical methods*. Agronomy Monograph N° 9, 2nd Ed. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 383-411.
- GERASIMOWICZ, W.V., D.M. BYLER & H. SUSI (1986). Resolution-enhanced FT-IR spectra of soil constituents: humic acid. *Applied Spectroscopy* 40: 504-507.
- GHANI, A., M. DEXTER & K.W. PERROTT (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 1231-1243.
- GHOLZ, H.L., L.C. HENDRY & W.P. CROPPER JR. (1985). Organic matter dynamics of fine roots in plantations of slash pine (*Pinus elliottii*) in north Florida. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 529-538.

- GOLCHIN, A., J.A. BALDOCK, P. CLARKE, T. HIGASHI & J.M. OADES (1997a). The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter of a volcanic ash soil as shown by ^{13}C NMR spectroscopy. II. Density fractions. *Geoderma* 76: 175-192.
- GOLCHIN, A., P. CLARKE, J.A. BALDOCK, T. HIGASHI, J.O. SKJEMSTAD & J.M. OADES (1997b). The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter in a volcanic ash soil as shown by ^{13}C NMR spectroscopy. I. Whole soil and humic acid fraction. *Geoderma* 76: 155-174.
- GOLDBERG, E.D. (1985). *Black Carbon in the Environment: Properties and Distribution*. Wiley Interscience, New York.
- GONZÁLEZ HENRÍQUEZ, M.N., J.D. RODRIGO PÉREZ & C. SUÁREZ RODRÍGUEZ (1986). *Flora y vegetación del archipiélago canario*. EDIRCA. Las Palmas de Gran Canaria, España.
- GONZÁLEZ-VILA, F.J. & G. ALMENDROS (2004). Thermal transformation of soil organic matter by natural fires and laboratory-controlled heatings. *Natural and Laboratory-Simulated Thermal Geochemical Processes*. Kluwer Academic Publishers. Pp. 153-200.
- GONZÁLEZ-VILA, F.J., H. LENTZ & H.D. LÜDEMAN (1976). FT- ^{13}C NMR spectra of natural humic substances. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 72: 1063-1069.
- GONZÁLEZ-VILA, F.J., H. LENTZ, H.D. LÜDEMAN & F. MARTIN (1983). ^{13}C NMR structural features of soil humic acids and their methylated, hydrolyzed and extracted derivatives. *Geoderma* 31: 3-15.
- GONZÁLEZ-VILA, F.J., G. ALMENDROS & F. MADRID (1999). Molecular alterations of organic fractions from urban waste in the course of composting and their further transformation in amended soil. *The Science of the Total Environment* 236: 215-229.
- GREGORICH, E.G. & B.H. ELLERT (1993). Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. En: M.R. Carter (Ed.). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publisher. Boca Raton, Florida. Pp. 397-407.
- GRESSEL, N., Y. INBAR, A. SINGER & Y. CHEN (1995). Chemical and spectroscopic properties of leaf litter and decomposed organic matter in the Carmel Range, Israel. *Soil Biology and Biochemistry* 27: 23-31.
- GUERRA GARCÍA, J.A. (2009). *Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la Isla de Tenerife. Secuencias edáficas evolutivas y regresivas*. Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna (Tenerife, España). Tesis Doctoral, inédita.
- GUITIÁN, F. & T. CARBALLAS (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- HALMAN, M.M. & M. STEINBEG (1999). *Greenhouse gas: Carbon dioxide mitigation*. Science and technology. Lewis Publisher. Boca Raton, Florida.

- HANEY, R.L., A.J. FRANZLUEBBERS, F.M. HONS, L.R. HOSSNER & D.A. ZUBERER (2001). Molar concentration of K₂SO₄ and soil pH affect estimation of extractable C with chloroform fumigation-extraction. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1501-1507.
- HANSEN, S., H.E. JENSEN, N.E. NIELSEN & H. SVENDSEN (1991). Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model DAISY. *Fertilizer Research* 27: 245-259.
- HANSON, P.J., N.T. EDWARDS, C.T. GARTEN & J.A. ANDREWS (2000). Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry* 48: 115-146.
- HARTGERS, W.A., J.S. SINNINGHE DAMSTÉ, J.W. DE LEEUW (1994). Geochemical Significance of Alkylbenzene Distributions in Flash Pyrolysates of Kerosene, Coals and Asphaltenes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58: 1759-1775.
- HARVEY, G.R. & D.A. BORAN (1983). The structure of marine fulvic and humic acids. *Marine Chemistry* 12: 119-132.
- HARVEY, G.R. & D.A. BORAN (1985). Geochemistry of humic substances in seawater. En: R.G. Aiken, D.M. Mcknight, R.L. Wershaw & P. MacCarthy (Eds.). *Humic Substances in Soil, Sediment and Water*. John Wiley & Sons, New York. Pp. 233-247.
- HARVEY, L. & D. DANNEY (2000). *Global warming: The hard science*. Prentice Hall, Pearson Educ. Ltd. Harlow, UK.
- HASSINK, J. (1994). Effect of soil texture on the size of the microbial biomass and on the amount of C and N mineralized per unit of microbial biomass in Dutch grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1573-1581.
- HASSINK, J., L.A. BOUWMANN, K.B. ZWART, J. BLOEM & L. BRUSSARD (1993). Relationship between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57: 105-128.
- HATCHER, P.G., I.A. BREGER, L.W. DENNIS & G.E. MACIEL (1983). Solid-state ¹³C NMR of sedimentary humic substances; new revelations on their chemical composition. En: R.F. Christman & E.T. Gjessing (Eds.). *Aquatic and Terrestrial Humic Material*. Ann Arbor. Michigan. Pp. 37-81.
- HÄTTENSCHWILER, S., A.V. TIUNOV & S. SCHEU (2005). Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 36: 191-218.
- HAUMAIER, L. & W. ZECH (1995). Black Carbon-possible source of highly aromatic components of soil humic acids. *Organic geochemistry* 23: 191-196.
- HAYES, M.H.B. & C.E. CLAPP (2001). Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science* 166: 723-737.
- HAYNES, R.J. (2000). Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 211-219.

- HAYNES, R.J. (2005). Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. *Advances in Agronomy* 85: 221-268.
- HEMMINGA, M.A. & P. BUURMAN (1997). Editorial: NMR in soil science. *Geoderma* 80: 221-224.
- HENDRICK, R.L. & K.S. PREGITZER (1993). The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 2507-2520.
- HENRIKSEN, T.M. & T.A. BRELAND (1999). Decomposition of crop residues in the field; evaluation of a simulation model developed from microcosm studies. *Soil Biology and Biochemistry* 31: 1423-1434.
- HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, Z. (2009). *Estudio funcional de la materia orgánica del suelo en agroecosistemas vitícolas de la isla de Tenerife (Canarias, España)*. Departamento de Ecología de la Universidad de Alcalá (Madrid, España). Tesis Doctoral, inédita.
- HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, T. & C. GARCÍA IZQUIERDO (2003). Estimación de la respiración microbiana del suelo. En: C. García, F. Gil, T. Hernández & C. Trasar (Eds.). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España. Pp. 311-346.
- HINDS, A.A. & L.E. LOWE (1980). Distribution of carbon, nitrogen, sulphur, and phosphorus in particle-size separates from gleysolic soils. *Canadian Journal of Soil Science* 60: 783-786.
- HOGBERG, P. & A. EKBLAD (1996). Substrate-induced respiration measured *in situ* in a C₃-plant ecosystem using additions of C₄-sucrose. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 1131-1138.
- HONTORIA, C., J.C. RODRÍGUEZ-MURILLO & A. SAA (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España peninsular. *Edafología* 11 (2): 149-155.
- HOUGHTON, J.T., L.G.M. FILHO, B.A. CALLANDER, N. HARRIS, A. KATTENBURG & K. MASKELL (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, U.K.
- HU, S., D.C. COLEMAN, C.R. CARROLL, P.F. HENDRIX, & M.H. BEARE (1997). Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 65: 69-78.
- IGLESIAS, A. (2000). Impacto del cambio climático en la agricultura: escenario para la producción de cultivos en España. En: *El Cambio Climático*. El Campo nº 137, Servicio de Estudios del BBVA. Pp. 183-200.

- INCD (1994). *Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and / or Desertification. Draft final negotiating text of the Convention*. A/AC.241/15/Rev.6; PAR 94-132. United Nations, Paris.
- INDERJIT, W.L.A. & L.A. WESTON (2003). Root exudates: An overview. En: H de Kroon & E.J.W. Visser (Eds.). *Root Ecology*. Springer-Verlag, Berlin. Pp. 235-255.
- IPCC (1996). *Climate Change. Scientific-Technical Analyses*. Cambridge University Press, UK.
- IPCC (2000). *Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Special Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK.
- IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Ginebra, Suiza.
- ISSS-ISRIC-FAO (2006). *World Reference Base for Soil Resources*. International Society of Soil Science - International Soil Reference and Information Centre - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia.
- JACKSON, R.B., J. CANADELL, J.R. EHLERINGER, H.A. MOONEY, O.E. SALA & E.D. SCHULZE (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia* 108: 389-411.
- JAHN, R., T. GUDMUNDSSON & K. STAHR (1985). Carbonatization as a soil forming process on soils from basic pyroclastic fall deposits on the island of Lanzarote, Spain. En: E. Fernández Caldas & D.H. Yaalon (Eds.). *Volcanic soils. Weathering and landscape relationships of soils on tephra and basalt*. Catena Supplement 7, Catena-Verlag, Reiskirchen, Alemania. Pp. 87-97.
- JASTROW, J.D., T.W. BOUTTON & R.M. MILLER (1996). Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal* 60: 801-807.
- JENKINSON, D.S. & J.N. LADD (1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover. En: E.A. Paul & J.N. Ladd (Eds.). *Soil Biochemistry* Vol. 5. Marcel Dekker, New York. Pp. 415-471.
- JENKINSON, D.S. & L.C. PARRY (1989). The nitrogen cycle in the Broadbalk wheat experiment: a model for the turnover of nitrogen through the soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 535-541.
- JENKINSON, D.S. & J.H. RAYNER (1977). The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science* 123: 298-305.
- JIMÉNEZ, C.C., M. TEJEDOR & M. RODRÍGUEZ (2004). Influence of deforestation in the soil temperature regime. En: *EUROSOIL 2004 Abstracts*. Institut of Soil Science and Forest Nutrition. University of Freiburg, Alemania. Pp. 86-87.
- JIMÉNEZ DE RIDDER, P. & M. BONMATÍ PONT (2003). Determinación de la actividad β -glucosidasa del suelo. En: C. García, F. Gil, T. Hernández & C. Trasar (Eds.). *Técnicas*

- de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España. Pp. 169-183.
- JOHN, B., B. LUDWIG & H. FLESSA (2003). Carbon dynamics determined by natural ¹³C abundance in microcosm experiments with soils from longterm maize rye monocultures. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 1193-1202.
- JOHNSON, M.G. & J.S. KERN (2002). Quantifying the organic carbon held in forested soils of the United States and Puerto Rico. En: J.M. Kimble, L.S. Heath, R.A. Birdsey & R. Lal (Eds.). *The Potential of U.S. Forest Soils to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, EEUU. Pp. 47-72.
- KAISER, M. & R.H. ELLERBROCK (2005). Functional characterization of soil organic matter fractions different in solubility originating from a longterm field experiment. *Geoderma* 127: 196-206.
- KALBITZ, K., J. SCHMERWITZ, D. SCHWESIG & E. MATZNER (2003). Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties. *Geoderma* 113: 273-291.
- KALRA, I.P. & D.G. MAYNARD (1991). *Methods for forest soil and plant analysis*. Information Report NOR-X319. Northern Forestry Centre, Alberta, Canadá.
- KARAKATSOULIS, J. & J. P. KIMMINS (1993). *Vegetation Development and Douglas-Fir Growth following clearcut harvesting in the CWHelm subzone. 10 years results from the Blaney Chronosequence*. Land Management Report no. 81. Ministry of forests. Province of British Columbia, Canadá.
- KARL, T.R. & K.E. TRENBERTH (2003). Modern Global Climate Change. *Science* 5651, 302: 1719-1723.
- KAVVADIAS, V.A., D. ALIFRAGIS, A. TSIONTSIS, G. BROFAS & G. STAMATELOS (2001). Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece. *Forest Ecology and Management* 144: 113-127.
- KHANNA, P.K., B. LUDWIG, J. BAUHUS & C. O'HARA (2001). Assessment and Significance of Labile Organic C Pools in Forest Soils. En: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follet & B.A. Stewart (Eds.). *Assessment Methods for Soil Carbon. Advances in Soil Science*. Lewis Publishers. Pp. 167-182.
- KIEFT, T.L., C.S. WHITE, S.R. LOFTIN, R. AGUILAR, J.A. CRAIG & D.A. SKAAR (1998). Temporal dynamics in soil carbon and nitrogen resources at a grassland-shrubland ecotone. *Ecology* 79 (2): 671-683.
- KIMBLE, J.M., R. LAL & R. GROSSMAN (1998). Alteration of Soil Properties Caused by Climate Change. En: H.P. Blume, H. Eger, E. Fleischhauer, A. Hebel, C. Reij & K.B. Steiner (Eds.). *Towards Sustainable Land Use. Advances in Geoecology* 31, Catena Verlag, Germany. Pp. 175-184.
- KONONOVA, M.M. (1966). *Soil organic matter*. Pergamon Press, Toronto.

- KÖRSCHENS, M., E. SCHULZ & R. BEHM (1990). Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. *Zentralblatt Mikrobiologie* 145: 305-311.
- KREBS, C.J. (1986). *Ecología. Análisis experimental de la distribución y abundancia*. Ediciones Pirámide, Madrid, España.
- KUCERA, C.L. & D.R. KIRKHAM (1971). Soil respiration studies tall-grass prairie in Missouri. *Ecology* 52: 912-915.
- LADD, J.N. (1978). Origin and Range of Enzyme in Soil. En: R.G. Burns (Ed.). *Soil Enzymes*. Academic Press, London. Pp. 51-96.
- LADD, J.N., J.M. OADES & M. AMATO (1981). Microbial biomass formed from ¹⁴C-, and ¹⁵N-labelled plant material decomposing in soils in the field. *Soil Biology and Biochemistry* 13: 119-126.
- LAL, R. (1998a). *The Potential for US Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*. Sleeping Bear Press. Chelsea, MI, USA.
- LAL, R. (1998b). Soil Processes and Greenhouse Effect. En: R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine & B.A. Stewart (Eds.). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp. 199-212.
- LAL, R. (1998c). Agronomic Impacts of Soil Degradation. En: R. Lal, W.H. Blum, C. Valentine & B.A. Stewart (Eds.). *Methods for Assessment of Soil Degradation*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. Pp. 459-473.
- LAL, R. (1999). Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Environmental Science* 1 (4): 307-326.
- LAL, R. (2000). Soil aggregation and carbon sequestration. En: R. Lal, J.M. Kimble & B.A. Stewart (Eds.). *Global Climate Change and Tropical Ecosystems*. CRC-Lewis Publishers, FL, USA. Pp. 317-329.
- LAL, R. (2001). *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*. SSSA Spec. Publ. N° 57, Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI, USA.
- LAL, R. (2002a). Carbon sequestration in drylands ecosystems of West Asia and North Africa. *Land Degradation and Development* 13: 45-49.
- LAL, R. (2002b). Soil Conservation and Restoration to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. En: J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (Eds.). *Man and Soil at the Third Millennium* Vol. 1. Geoforma Ediciones, S.L. Logroño, España. Pp. 37-51.
- LAL, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1-22.
- LAL, R., J. KIMBLE, E. LEVINE & C. WHITMAN (1995a). Towards Improving the Global Data Base on Soil Carbon. En: R. Lal, J. Kimble, E. Levine & B.A. Stewart (Eds.). *Soils and Global Change*. Advances in Soil Science, CRC-Lewis Publishers. Pp. 433-436.

- LAL, R., J. KIMBLE, E. LEVINE & C. WHITMAN (1995b). World Soils and Greenhouse Effect: An overview. En: R. Lal, J. Kimble, E. Levine & B.A. Stewart (Eds.). *Soils and Global Change*. Advances in Soil Science, CRC-Lewis Publishers. Pp. 1-7.
- LAL, R., H.M. HASSAN & J. DUMANSKI (1999). Desertification control to sequester C and mitigate the greenhouse effect. En: N.J. Rosenberg, R.C. Izaurralde & E.L. Malone (Eds.). *Carbon Sequestration in soils: science, monitoring and beyond*. Battelle Press, Columbus, OH, USA. Pp. 83-130.
- LEINWEBER, R. & H.R. SCHULTEN (1993). Dynamics of soil organic matter studied by pyrolysis-field ionization mass spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 25: 123-136.
- LEINWEBER, R. & H.R. SCHULTEN (1995). Composition, stability, and turnover of soil organic matter: investigations by off-line pyrolysis and direct pyrolysis-mass spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 32: 91-110.
- LEINWEBER, P., H.R. SCHULTEN & M. KÖRSCHENS (1995). Hot water extracted organic matter: chemical composition and temporal variations in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils* 20: 17-23.
- LINN, D.M. & J.W. DORAN (1984). Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils. *Soil Science Society of America Journal* 48: 1267-1272.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. (2001). El riesgo de desertificación. En: F. M. de Santa Olalla Mañas (Ed.). *Agricultura y desertificación*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp. 15-38.
- LUTHI, D., M. LE FLOCH, B. BEREITER, T. BLUNIER, J.M. BARNOLA, U. SIEGENTHALER, D. RAYNAUD, J. JOUZEL, H. FISCHER, K. KAWAMURA & T.F. STOCKER (2008). High-resolution carbon dioxide concentration record 650.000-800.000 years before present. *Nature* 453: 379-382.
- MACCARTHY, P. & J.A. RICE (1985). Spectroscopic methods (other than NMR) for determining functionality in humic substances. En: G.R. Aiken, D.M. McKnight, R.L. Wershaw & P. MacCarthy (Eds.). *Humic substances in soil, sediment, and water*. Wiley-Interscience, New York, EEUU. Pp. 527-559.
- MACÍAS, F. (2004). Sumideros de carbono para el forzamiento climático antropoceno. Una visión de alternativas de actuación desde la ciencia del suelo. *Edafología* 11 (1): 7-25.
- MACÍAS, F., R. CALVO, F. ARCE, C. BULNES & R. LÓPEZ (2001). Los suelos como sumidero de carbono: Materia orgánica de los suelos de Galicia. *XXII Reunión Nacional de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*. Universidad de Santiago de Compostela. Pp. 118-121.
- MALIK, K.A., N.A. BHATTI & F. KAUSER (1979). Effect of Soil Salinity on Decomposition and Humification of Organic Matter by Some Cellulolytic Fungi. *Mycologia* 71 (4): 811-820.

- MAPA (1993). *Métodos oficiales de análisis*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- MARGARITZ, M. & R. JAHN (1992). Pleistocene and Holocene soil carbonates from Lanzarote, Canary Islands, Spain: paleoclimatic implications. *Catena* 19: 511-519.
- MARSCHNER, B. & K. KALBITZ (2003). Controls of bioavailability and biodegradability of dissolved organic matter in soils. *Geoderma* 113: 211-235.
- MARTÍNEZ LINARES, J. & GREENPEACE (2009). *La crisis del clima. Evidencias del cambio climático en España*. Greenpeace, España.
- MARTIUS, C., H. HÖFER, M.V.B. GARCÍA, J. RÖMBKE & W. HANAGARTH (2004). Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68: 137-154.
- MATSON, P. (1990). Plant-soil interactions in primary succession at Hawaii Volcanoes National Park. *Oecologia* 85: 241-246.
- MCCOLL, J.G. & N. GRESSEL (1995). Forest soil organic matter: characterization and modern methods of analysis. En: W.W. McFee & J.M. Kelley (Eds.). *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Soil Science Society of America. Madison, WI. Pp. 13-31.
- MCGILL, W.B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter (SOM) models. En: D.S. Powlson, P. Smith, and J.U. Smith (Eds.). *Evaluation of Soil Organic Matter Models: Using Existing Long-term Datasets*. Springer, New York. Pp. 111-132.
- MCGILL, W.B., K.R. CANNON, J.A. ROBERTSON & F.D. COOK (1986). Dynamics of soil microbial biomass and water soluble C in Breton L after 50 years of cropping to two rotations. *Canadian Journal of Soil Science* 66: 1-19.
- MCKEAGUE, J.A. (1967). An evaluation of 0,1M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractants of the accumulation products in Podzols and some other soils. *Canadian Journal of Soil Science* 47: 95-99.
- MCKEAGUE, J.A. (1968). Humic-fulvic acid ratio, Al, Fe and C in pyrophosphate extracts as criteria of A and B horizons. *Canadian Journal of Soil Science* 48: 27-35.
- MEENTEMEYER, V. (1978). Macroclimate and lignin control of litter decomposition rates. *Ecology* 59: 465-472.
- MELILLO, J.M., R.J. NAIMAN, J.D. ABER & K.N. ESHLEMAN (1983). The influence of substrate quality and stream size on wood decomposition dynamics. *Oecologia* 58: 281-285.
- MERLET, D. (1971). *Mise au point technique concernant l'extraction et la caractérisation des composés organiques dans les sols*. Centre de Pédologie Biologique, C.N.R.S., Nancy, Doc. 15.
- MEYERS, P.A. & R. ISHIWATARI (1993). Lacustrine organic geochemistry- an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry* 20: 867-900.

- MIZOTA, C. & L.P. VAN REEUWIJK (1989). *Clay mineralogy and chemistry of soils formed in volcanic material in diverse climatic regions*. Soil monograph 2. ISRIC. Wageningen. Holanda.
- MONTERROSO, C., A. GIL BUENO, S. PÉREZ VARELA, F. MACÍAS (2004). Restauración de suelos de mina: contribución a la fijación de carbono en el ecosistema terrestre. *Edafología* 11 (2): 135-148.
- MONTEVERDE MIRANDA, C.A. (2003). *Contribución al estudio de los métodos de determinación de los regímenes hídricos del suelo: aplicación en dos zonas de la isla de Tenerife*. Departamento de Edafología y Geología. Universidad de La Laguna, España. Memoria de licenciatura, inédita.
- MORA HERNÁNDEZ, J.L. (2008). *Calidad del suelo y sucesión ecológica en los ecosistemas naturales de las Islas Canarias*. Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna (Tenerife, España). Tesis Doctoral, inédita.
- MORA, J.L., C. ARBELO, C. ARMAS, A. GUERRA & A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ (2005). Salinity and alkalinity in soils of the arid region of Tenerife, Canary Island, Spain. En: A. Faz Cano, R. Ortiz & A.R. Mermut (Eds.). *Sustainable use and management of soils. Advances in Geoecology* 36. Catena-Verlag, Reiskirchen. Pp. 22-32.
- MORA HERNÁNDEZ, J.L., J.A. GUERRA, C.M. ARMAS, A. RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, C.D. ARBELO & J.S. NOTARIO (2007). Mineralization rate of eroded organic C in Andosols of the Canary Island. *Science of the total environment* 378: 143-146.
- MORENO, J.M. (2005). *Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático*. Centro de Publicaciones. Secretaria General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente. España.
- MORISADA, K., K. ONO & H. KANOMATA (2004). Organic carbon stock in forest soils in Japan. *Geoderma* 119: 21-32.
- MUDRICK, D.A., M. HOOSEIN, R.R. HICKS JR. & E.C. TOWNSEND (1994). Decomposition of leaf litter in an Appalachian forest: effects of leaf species, aspect, slope position and time. *Forest Ecology and Management* 68: 231-250.
- MURPHY, J. & J.P. RILEY (1962). *A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural water*. Department of Oceanography, University of Liverpool. Liverpool, GB.
- MUUKKONEN, P. (2005). Needle biomass turnover rates of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) derived from the needle-shed dynamics. *Tree* 19: 273-279.
- MUUKKONEN, P. & A. LEHTONEN (2004). Needle and biomass turnover rates of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research* 34 (12): 2517-2527.
- NAAFS, D.F.W. (2004). *What are humic substances? A molecular approach to the study of organic matter in acid soils*. University of Utrecht. Thesis report, unpublished.

- NANNIPIERI, P., B. CECCANTI & S. GREGO (1990). Ecological significance of the biological activity in soil. En: J.M. Bollag & G. Stotzky (Eds.). *Soil Biochemistry* Vol. 6. Marcel Dekker, New York. Pp. 293-355.
- NEYROUD, J.A. & M. SCHNITZER (1972). The chemistry of high molecular weight fulvic acid fractions. *Canadian Journal of Chemistry* 52: 4123-4132.
- NICOLARDOT, B., D. CHENBY & M.R. ALLARD (1992). Availability of carbon and nitrogen contained in different soil particle-size fractions. En: J. Prague (Ed.). *Humus, Its Structure and Role in Agriculture and Environment*. Proceedings of the 10th Symposium Humus et Planta. Prague, August 19-23.
- NIP, M., E.W. TEGELAAR, J.W. DE LEEUW & P.A. SCHENCK (1986). A new non-saponifiable highly aliphatic and resistant biopolymer in plant cuticles. *Naturwissenschaften* 73: 579-585.
- OADES, J.M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76: 319-337.
- OADES, J.M. & A.G. WATERS (1991). Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research* 29: 815-828.
- OBERBAUER, S.F., C.T. GILLESPIE, W. CHENG, R. GEBAUER, A. SALA SERRA & J.D. TENHUNEN (1992). Environmental effects on CO₂ efflux from riparian tundra in the Northern foothills of the Brooks Range, Alaska, U.S.A. *Oecologia* 92: 568-577.
- OLSON, J.S. (1963). Energy storage and balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- OTTO, R., J.M. FERNÁNDEZ-PALACIOS & B.O. KRÜSI (2001). Variation in species composition and vegetation structure of succulent scrub on Tenerife in relation to environmental variation. *Journal of Vegetation Science* 12: 237-248.
- PADRÓN GONZÁLEZ, E. (2008). *Emisión difusa de dióxido de carbono y otros volátiles en el volcán Cumbre Vieja, La Palma, Islas Canarias*. División de Medio Ambiente. Instituto Tecnológico y de Energías Renovables. Tenerife (Islas Canarias, España). Tesis Doctoral, inédita.
- PAND, 2008. *Programa de Acción Nacional contra la Desertificación*. Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Gobierno de España.
- PAUL, E.A. & F.E. CLARK (1989). *Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press, San Diego.
- PAVEL, R., J. DOYLE & Y. STEINBERGER (2004). Seasonal patterns of cellulase concentration in desert soil. *Soil Biology and Biochemistry* 36 (3): 549-554.
- PEECH, M., L.T. ALEXANDER, L.A. DEAN & REED (1947). *Methods of soil analysis for soil fertility investigations*. USDA Cir. 757. U.S. Government Print Office, Washington DC, EEUU.

- PÉREZ DE PAZ, P.L. & V. LUCÍA SAUQUILLO (2000). Problemática de la conservación de la flora y masas de vegetación de Canarias. Estado actual, factores de amenaza y medidas de actuación. En: P.L. Pérez de Paz & J.C. Cabrera Pérez (Eds.). *Disciplinas ambientales de Canarias (Estudios del Medio Ambiente Canario)*. Instituto de Ciencias Ambientales de Canarias. Candelaria, Tenerife, España. Pp. 125-134.
- PÉREZ DE PAZ, P.L., M. DEL ARCO AGUILAR, J.R. ACEBES GINOVÉS & WILDPRET DE LA TORRE (1990). La vegetación cormofítica (vascular) del Parque Nacional de Garajonay. En: P.L. Pérez de Paz (Ed.). *Parque Nacional de Garajonay. Patrimonio Mundial*. Colección Técnica, ICONA. Madrid, España. Pp. 137-171.
- PETERJOHN, W.T., J.M. MELILLO, P.A. STEUDLER, K.M. NEWKIRK, F.P. BOWLES & J.D. ABER (1994). Responses of trace gas fluxes and N availability to experimentally elevated soil temperatures. *Ecological Applications* 4: 617-625.
- PETERSE, F. (2005). *Organic matter chemistry in Costa Rican volcanic ash soils*. Laboratory of Soil Science and Geology, Wageningen University. Thesis report, unpublished.
- PIERZYNSKI, G.M., J.T. SIMS & G.F. VANCE (2000). *Soils and Environmental Quality*, 2nd Edition. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- POLVILLO POLO, O. (2003). *Análisis geoquímico-orgánico de sedimentos del estuario del Río Guadiana y su relación con la detección de cambios ambientales en el Holoceno*. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Sevilla (España). Tesis Doctoral, inédita.
- PONTEVEDRA-POMBAL, X., A. MARTÍNEZ-CORTIZAS, E. GARCÍA-RODEJA & P. BUURMAN (2002). Las turberas como sumideros de carbono. *Reunión Internacional de secuestro de carbono en suelos y biomasa*. 5-6 de diciembre de 2002. A Coruña, España.
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO & R. RODRÍGUEZ OCHOA (1986). *Técnicas y experimentos en Edafología*. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. Llérida, España.
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO & C. ROQUERO (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3^a Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO & R.M. POCH (2008). *Introducción a la Edafología. Uso y protección del suelo*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- POST, W.M., W.R. EMMANUEL, P.J. ZINKE & A.F. STANGENBERGER (1982). Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 258: 159-165.
- PRESTON, C.M. (1996). Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects. *Soil Science* 161: 144-166.
- PRESTON, C.M. & J.A. RIEPMEESTER (1982). Application of solution and solid-state ¹³C NMR to four organic soils, their humic and fulvic acids, humins and hydrolysis residues. *Canadian Journal of Applied Spectroscopy* 27: 99-105.

- PUGET, P., C. CHENU & J. BALESDENT (1995). Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46: 449-459.
- QUALLS, R. & B.L. HAINES (1992). Biodegradability of dissolved organic matter in forest throughfall, soil solution, and stream water. *Soil Science Society of America Journal* 56: 578-586.
- QUANTIN P., B. DABIN, A. BOULEAU, B.L. LULLI & F. BIDINI (1985). Characteristics and genesis of two Andosols in central Italy. En: E. Fernández-Caldas & Dan H. Yaalon (Eds.). *Volcanic soils: Weathering and Landscape relationships of soils on tephra and basalt*. Catena supplement 7. A cooperating Journal of the International Society of Soil Science, Braunschweig, Germany. Pp. 107-117.
- QUINN, J.G. & M. SALOMON (1964). Chloride interference in the dichromate oxidation of soil hydrolyzates. *Soil Science Society of America Proceedings* 28, pp. 456.
- RAICH, J.W. & K.J. NADELHOFFER (1989). Belowground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. *Ecology* 70: 1346-1354.
- RAICH, J.W. & A. TUFEKCIOGLU (2000). Vegetation and soil respiration: correlations and controls. *Biogeochemistry* 48: 71-90.
- RAMÍREZ PALACIO, A.A. & F.H. MORENO HURTADO (2008). Microbial and Root Respiration in Soils of Tropical Primary and Secondary Forests (Porce, Colombia). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía de Medellín* 61 (1): 4381-4393.
- RAO, C.R. (1964). The use and interpretation of principal components analysis in applied research. *Sankhyaá, Ser. A*. 26: 329-458.
- RAUNKJAER, C. (1934). *The life forms of plants and statistical Plant Geography, being the collected papers of C. Raunkiaer*. Clarendon Press. Oxford, GB.
- RICE, C.W., T.B. MOORMAN & M. BEARE (1996). Role of Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Soil Quality. En: A.J. Jones & J.W. Doran (Eds.). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special publication 49. Madison, Wisconsin. Pp. 203-215.
- RICHARDS, L.A. (1947). Pressure-membrane apparatus-construction and use. *Agriculture Engineering* 28: 451-454.
- RIEDERER M., K. MATZKE , F. ZIEGLER & I. KÖGEL-KNABNER (1993). Occurrence, distribution and fate of the lipid plant biopolymers cutin and suberin in temperate forest soils. *Organic Geochemistry* 20 (7): 1063-1076.
- RIELEY, G., R.J. COLLIER, D.M. JONES & G. EGLINTON (1991). The biogeochemistry of Ellesmere Lake, U.K.: Source correlation of leaf wax inputs to the sedimentary lipid record. *Organic Geochemistry* 17: 901-912.
- RIVAS MARTÍNEZ, S., W. WILDPRET, T.E. DÍAZ, P.L. PÉREZ DE PAZ, M. DEL ARCO & O. RODRÍGUEZ (1993). Excursión guide. Outline vegetation of Tenerife Island (Canary Islands). *Itinera Geobotánica* 7: 5-167.

- ROBINSON, D., A. HODGE & A. FITTER (2003). Constraints on the form and function of root systems. En: H de Kroon & E.J.W. Visser (Eds.). *Root Ecology*. Springer-Verlag. Berlin. Pp. 1-31.
- RODIN, L.E. & N.I. BASILEVIC (1967). *Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation*. Oliver and Boyd, Edinburgh.
- RODRÍGUEZ DELGADO, O. (2000). Los principales ecosistemas naturales de Canarias. Características e importancia. En: P.L. Pérez de Paz & J.C. Cabrera Pérez (Eds.). *Disciplinas Ambientales de Canarias (Estudios del Medio Ambiente Canario)*. Instituto de Ciencias Ambientales de Canarias. Candelaria, Tenerife, España. Pp. 99-116.
- RODRÍGUEZ DELGADO, O., A. MARRERO RODRÍGUEZ, M.A. PEÑA ESTÉVEZ, M. DEL ARCO AGUILAR & F.J. GONZÁLEZ ARTILES. (1997). Hábitats de Canarias: matorral xérico y bosques termófilos. En: P.L. Pérez de Paz (Ed.). *Máster en Gestión Ambiental. Ecosistemas Insulares Canarios. Usos y aprovechamientos en el territorio*. Vol. I. Gobierno de Canarias-ULPCG-ULL-Gesplan-Fondo Social Europeo. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 203-215.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. (2002). Erosión y Desertificación. En: *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación*. Ed. Turquesa, Tenerife. Pp. 316-321.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. & C.D. ARBELO RODRÍGUEZ (1998). *Normas de Descripción de Perfiles* (no publicado). Dpto. Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A. & J.L. MORA HERNÁNDEZ (2000). Los suelos. En: G. González Matos & R. Pérez González (Eds.). *Gran Atlas Temático de Canarias*. Editorial Interinsular Canaria. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 107-120.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., C.C. JIMÉNEZ & M.L. TEJEDOR (1998). Soil degradation and desertification in the Canary Islands. En: A. Rodríguez Rodríguez, C.C. Jiménez & M.L. Tejedor (Eds.). *The soil as a strategic resource: degradation processes and conservation measures*. Geoforma Ediciones. Logroño, España. Pp. 13-22.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., J.J. SOUZA & I. TAMARGO (2001). Suelos y Aguas subterráneas. En: *Diagnóstico ambiental de Canarias*. Documento de Avance de las Directrices de Ordenación General. Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente, Gobierno de Canarias. Pp. 399-455.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., C.D. ARBELO, J.A. GUERRA & J.L. MORA (2002a). Aggregate stability and water erosion in Andosols of the Canary Islands (Spain). *Land Degradation and Development* 13: 515-523.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., J.L. MORA HERNÁNDEZ & C.D. ARBELO RODRÍGUEZ (2002b). Variation of soil quality in plant succession of the coastal scrub of Tenerife (Canary Islands). En: J.L. Rubio, R.P.C. Morgan, S. Asins & V. Andreu (Eds.). *Man and Soil at the Third Millenium* Vol. 2. Geoforma Ediciones. Logroño, España. Pp. 1185-1198.

- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ A., J.L. MORA, J.A. GUERRA, C.D. ARBELO & J. SÁNCHEZ (2002c). An ecosystemic approach to soil quality assessment. En: A. Faz, R. Ortiz & A.R. Mermut (Eds.). *Sustainable Use and Management of Soils in Arid and Semiarid Regions* Vol. I. Quaderma Interlibro. Murcia, España. Pp. 194-209.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., A.B. FERNÁNDEZ LÓPEZ, C.D. ARBELO, J.S. NOTARIO, G.E. VARGAS, J.L. MORA, J.A. GUERRA, C.M. ARMAS & R. AMIGÓ (2002d). *Plan Complementario Edafológico del Programa de Seguimiento Ecológico en el Parque Nacional de Garajonay*. Memoria + Anexos + Mapas + Base de Datos y Cartografía Digital. Dpto. de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., A. GUERRA, C. ARBELO, J.L. MORA, S.P. GORRÍN & C. ARMAS (2004a). Forms of eroded soil organic carbon in andosols of the Canary Islands (Spain). *Geoderma* 121: 205-219.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., C.D. ARBELO, J.S. NOTARIO, J.L. MORA, J.A. GUERRA & C.M. ARMAS (2004b). Contenido y formas de carbono orgánico en Andosoles forestales: Aproximación a su dinámica. *Edafología* 11 (1): 67-102.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., C.D. ARBELO, J.L. MORA & J. BORDÓN (2005). Pland succession and soil degradation in desertified areas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain). *Catena* 59 (2): 117-131.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., C.D. ARBELO, J.A. GUERRA, J.L. MORA, J.S. NOTARIO & C.M. ARMAS (2006). Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena* 66: 228-235.
- ROSENBERG, N., R.C. IZAURRALDE & E.L. MALONE (1999). *Carbon Sequestration in Soils*. Battelle Press, Columbus, OH, USA.
- ROSENFELD, A. & A.C. KAK (1982). *Digital Picture Processing*, Vol.I. Academic Press. New York.
- ROSENZWEIG, C. & D. HILLEL (1998). *Climate Change and the global harvest: Potential impacts of the greenhouse effect on agriculture*. Oxford Univ. Press, Oxford, UK.
- ROSS, D.J. (1971). Some factors affecting the estimation of dehydrogenase activities of some soils under pasture. *Soil Biology and Biochemistry* 3: 97-110.
- RUSTAD, L.E. & I.J. FERNÁNDEZ (1998). Experimental soil warming effects on CO₂ and CH₄ flux from a low elevation spruce-fir soil in Maine, USA. *Global Change Biology* 4: 597-605.
- RUSTAD, L.E., T.G. HUNTINGTON & R.D. BOONE (2000). Controls on soil respiration: Implications for climate change. *Biogeochemistry* 48: 1-6.
- SÁNCHEZ, F.G. & G.A. RUARK (1995). Fractionation of soil organic matter with supercritical freon. En: W.W. McFee & J.M. Kelly (Eds.). *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI. Pp. 33-41.

- SÁNCHEZ, J., L. RECATALÁ & M. GOBERNA (2002). Secuestro de carbono inorgánico en el suelo: una primera estimación en una zona representativa del ámbito semiárido español. *Reunión Internacional de secuestro de carbono en suelos y biomasa*. 5-6 de diciembre de 2002. A Coruña, España.
- SCHARPENSEEL, H.W. & E.M. PFEIFFER (1998). Impacts of Possible Climate Change upon Soils. Some Regional Consequences. En: H.P. Blume (Ed.). *Towards Sustainable Land Use. Advances in Geoecology* 31, Catena Verlag, Germany. Pp. 193-208.
- SCHINNER, F. & W. VON MERSI (1990). Xylanase, CM-cellulase and invertase activity in soil: an improved method. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 511-515.
- SCHLESINGER, W.H. (1995). An overview of the Carbon Cycle. En: R. Lal, J. Kimble, E. Levine & B.A. Stewart (Eds.). *Soils and Global Change*. Advances in Soil Science, CRC Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. Pp. 9-25.
- SCHLESINGER, W.H. (1999). Carbon and Agriculture-Carbon Sequestration in Soils. *Science* 5423, Vol. 284. Pp. 2095.
- SCHLESINGER, W.H. & J.A. ANDREWS (2000). Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry* 48: 7-20.
- SCHMIDT, M.W.I., J.O. SKJEMSTAD & I. KOGEL-KNABNER (1999). Charred organic carbon in German chernozemic soils. *European Journal of Soil Science* 50: 351-365.
- SCHNITZER, M. & U.C. GUPTA (1964). Some chemical characteristics of the organic matter extracted from the O and B₂ horizons of a Gray Wooded soil. *Soil Science Society of America Proceeding* 28: 374-377.
- SCHNITZER, M. & K.C. IVARSON (1982). Different forms of nitrogen in particle-size fractions separated from two soils. *Plant and Soil* 69: 383-389.
- SCHNITZER, M. & C.M. PRESTON (1987). Supercritical gas extraction of a soil with solvents of increasing polarities. *Soil Science Society of America Journal* 51: 639-646.
- SCHNITZER, M. & P. SCHUPPLI (1989). Method for the sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Science Society of America Journal* 53: 1418-1424.
- SCHNITZER, M. & S.I.M. SKINNER (1964). Organo-metallic interactions in soils: 3. Properties of iron- and aluminium-organic matter complexes prepared in the laboratory and extracted from a soil. *Soil Science* 98: 197-203.
- SCHNITZER, M., C.A. HINDLE & M. MEGLIC (1986). Supercritical Gas Extraction of Alkanes and Alkanoic Acids from Soils and Humic Materials. *Soil Science Society of America Journal* 50: 913-919.
- SCHNITZER, M., H-R SCHULTEN, P. SCHUPPLI & D.A. ANGERS (1991). Organic matter extraction from soils with water at high pressure and temperatures. *Soil Science Society of America Journal* 55: 102-108.
- SCHUBERT, K.R. (1986). Products of biological nitrogen fixation in higher plants: synthesis, transport and metabolism. *Annual Review of Plant Physiology* 37: 539-574.

- SCHULTEN, H.R. & P. LEINWEBER (1993). Influence of the mineral matrix on the composition of soil organic matter in a long-term agricultural experiment. *Biogeochemistry* 22: 1-22.
- SCHULTEN, H.R. & M. SCHNITZER (1991). Supercritical carbon dioxide extraction of long-chain aliphatics from two soils. *Soil Science Society of America Journal* 55: 603-611.
- SCHULTEN, H.R., B. PLAGE & M. SCHNITZER (1991). A chemical structure for humic substances. *Naturwissenschaften* 78: 311-312.
- SCHULTEN, H.R., P. LEINWEBER & C. SORGE (1993). Composition of organic matter in particle-size fractions of an agricultural soil. *Journal of Soil Science* 44: 677-691.
- SCHULZ, E. (1990). Die heißwassereßbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). *Tagungsberichte der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften* 295: 269-275.
- SCHULZ, E. (2002). Influence of extreme management on decomposable soil organic matter pool. *Archiv Acker. Pflanze und Boden* 48: 101-105.
- SCHULZ, E., L.S. TRAVNIKOVA, N.A. TITOVA, B.M. KOGUT & M. KORSCHENS (2002). Influence of Soil Type and Fertilization on Accumulation and Stabilization of Organic Carbon in Different SOM Fractions. En: W. Lianxiang *et al.* (Eds.). *Sustainable Utilization of Global Soil and Water Resources. III.- Technology and Method of Soil and Water Conservation*. Tsinghua University Press. Beijing. Pp. 304-308.
- SCHWESIG, D., K. KALBITZ & E. MATZNER (2003). Mineralization of dissolved organic carbon in mineral soil solution of two forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166: 585-593.
- SENESI, N., V. D'ORAZIO & G. RICCA (2003). Humic acids in the first generation of EUROSOILS. *Geoderma* 116: 325-344.
- SETO, M. & K. YANAGIYA (1983). Rate of CO₂ evolution from soil in relation to temperature and amount of dissolved organic carbon. *Japanese Journal of Ecology* 33: 199-205.
- SHINDO, H., Y. MATSUI & T. HIGASHI (1986). A possible source of humic acids in volcanic ash soils in japan-charred residue of *Miscanthus sinensis*. *Soil Science* 141 (1): 84-87.
- SHOJI, S., M. NANZYO & R.A. DAHLGREN (1993). *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization*. Developments in Soil Science 21. Elsevier. Amsterdam.
- SIMMLEIT, N. & H.R. SCHULTEN (1989). Analytical pyrolysis and environmental research. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 15: 3-28.
- SIX, J., E.T. ELLIOT & K. PAUSTIAN (2000a). Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 2099-2103.

- SIX, J., E.T. ELLIOT & K. PAUSTIAN (2000b). Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal* 64: 1042-1049.
- SIX, J., K. PAUSTIAN, E.T. ELLIOTT & C. COMBRINK (2000c). Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Science Society of America Journal* 64: 681-689.
- SIX, J., H. BOSSUYT, S. DEGRYZE & K. DENEFF (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage and Research* 79: 7-31.
- SKJEMSTAD, J.O., P. CLARKE, A. GOLCHIN & J.M. OADES (1997). Characterization of soil organic matter by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy. En: G. Cadisch & K.E. Giller (Eds.). *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*, Vol. 20. CAB, Wallingford. UK. Pp. 253-271.
- SKUJINS, J. (1973). Dehydrogenase: An indicator of biological activities in arid soils. *Bulletin of Ecological Research Communications* 17: 235-241.
- SMERNICK, R. J. & J.M. OADES (2002). Paramagnetic Effects on Solid State Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectra of Soil Organic Matter. *Journal of Environmental Quality* 31: 414-420.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993). *Soil Survey Manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. Washington DC, EEUU.
- SOIL SURVEY STAFF (2006). *Keys to Soil Taxonomy*. Tenth Edition. USDA-NRCS. Washington DC, EEUU.
- SOMBROEK, W.G., F.O. NACHTERGAELE & A. HEBEL (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* 22: 417-426.
- SOUSA, W.P. (1984). The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.
- SPARLING, G.P., T.W. SPEIR & K.N. WHALE (1986). Changes in microbial biomass C, ATP content, soil phosphor-monoesterase and phospho-diesterase activity following air-drying of soils. *Soil Biology and Biochemistry* 18: 363-370.
- SPARLING, G.P., M. VOJVODIC-VUKOVIC & L.A. SCHIPPER (1998). Hot water soluble C as simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1469-1472.
- SPOSITO, G. (1989). *The Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York.
- SPOSITO, G., N.T. SKIPPER, R. SUTTON, S-H. PARK, A.K. SOPER & J.A. GREATHOUSE (1999). Surface geochemistry of the clay minerals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 96: 3358-3364.
- SPSS (2003). *SPSS 12.0 Base User's Guide*. Prentice Hall. New Jersey, EEUU.

- SQUIRES, V.R. (1998). Drylands Soils: Their potential as a Sink for Carbon and as an Agent in Mitigating Climate Change. En: H.P. Blume (Ed.). *Towards Sustainable Land Use*. Catena Verlag, Alemania. *Advances in Geoecology* 31: 209-215.
- STAHR, K., R. JAHN, A. HUTH & J. GAUER (1989). Influence of aeolian sedimentation on soil formation in Egypt and Canary Island deserts. En: A. Yair & S. Berkowicz (Eds.), *Arid and semiarid environments. Geomorphological and pedological aspects*. Catena Supplement 14, Catena-Verlag. Reiskirchen, Alemania. Pp. 127-144.
- STEVENSON, F.J. (1982). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- STEVENSON, F.J. & M.A. COLE (1999). *Cycles of Soil*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- STEVENSON, F.J. & R.A. OLSEN (1989). A simplified representation of the chemical nature and reactions of soil humus. *Journal of Agronomic Education* 18 (2): 83-88.
- STRYER, L. (1995). *Biochemistry*, 4th Edition. Freeman and Company, New York.
- STUMP, L.M. & D. BINKLEY (1992). Relationships between litter quality and nitrogen availability in Rocky Mountain forests. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1402-1407.
- SWIFT, M.J., O.W. HEAL & J.M. ANDERSON (1979). *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Berkeley: Univ. Calif. Press.
- SWIFT, R.S. (1996). Organic matter characterization. En: D.L. Sparks (Ed.): *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Soil Science Society of America. Madison, WI. Pp. 1011-1069.
- TABATABAI, M.A. (1982). Soil Enzymes. En: A.L. Page, R.H. Miller & D.R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2nd Edition. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison. Pp. 903-947.
- TABATABAI, M.A. (1994). Soil Enzymes. En: *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*- SSSA Book Series, no. 5. Soil Science Society of America. Inc., Wisconsin, USA. Pp. 775-833.
- TAKAHASHI, T., R.A. DAHLGREN & T. SASE (1994). Formation of melanic epipedons under forest vegetation in the xeric moisture regime of northern California. *Soil Science and Plant Nutrition* 40: 617-628.
- TATE, K.R. & B.K.G. THENG (1980). Organic matter and its interactions with inorganic soil constituents. En: B.K.G. Theng (Ed.). *Soils with variable charge*. New Zealand Society of Soil Science, New Zealand. Pp. 225-249.
- TEGELAAR, E.W., J.W. DE LEEUW & C. SAIZ-JIMÉNEZ (1989). Possible origin of aliphatic moieties in humic substances. *Science of the Total Environment* 81/82: 1-17.
- TEGELAAR, E.W., G. HOLLMAN, P. VAN DER VEGT, J.W. DE LEEUW & P.J. HOLLOWAY (1995). Chemical characterization of the periderm tissue of some

- angiosperm species: recognition of an insoluble, non-hydrolyzable, aliphatic biomacromolecule (Suberan). *Organic Geochemistry* 23: 239-251.
- TEJEDOR, M., C.C. JIMÉNEZ & M. RODRÍGUEZ PAZ (2002). Soil temperature regimes in soils of the subalpine area of the island of Tenerife. En: A. Faz *et al.* (Eds.). *Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions. Vol. II*. Quaderna Editorial, Murcia, España. Pp. 43-44.
- TEJEDOR, M., C. JIMÉNEZ, M. RODRÍGUEZ & G. MORILLAS (2004). Effect of soil use change on soil temperatura regime. *ISCO 2004 Paper N° 648*. Brisbane, Australia.
- TER BRAAK, C.F.J. & P. ŠMILAUER (2002). *CANOCO reference manual and Canodraw for Windows user`s guide to Canoco for Window. Software for Canonical Community Ordination (version 4.5.)*. Centre for Biometry. Wageningen, Holanda.
- TERRADAS, J. (2001). *Ecología de la vegetación. De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- THENG, B.K.G. (1979). *Formation and Properties of Clay-Polymer Complexes*. Elsevier, Amsterdam.
- THORNWAITE, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55-89.
- TIESSEN, H. & J.W.B. STEWART (1983). Particle-size fractions and their use in studies of organic matter composition in size. *Soil Science Society of America Journal* 47: 509-514.
- TISDALL, J.M. & J.M. OADES (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- TRAGSATEC (1996). *Plan Básico de Vegetación. Programa de Seguimiento Ecológico en el P.N. de Garajonay*. Documento técnico inédito.
- TRASAR-CEPEDA, M.C., F. GIL SOTRES & F. GUITIAN OJEA (1985). Determinación de la actividad fosfatasa en suelos gallegos. Precisiones al método de Sarathchandra y Perrot. *Anales de Edafología y Agrobiología* 44: 987-991.
- TRASAR-CEPEDA, M.C., F. GIL SOTRES & M. C. LEIRÓS DE LA PEÑA (2003a). Determinación de la actividad deshidrogenasa del suelo. En: C. García, F. Gil, T. Hernández & C. Trasar (Eds.). *Técnicas de Análisis de Parámetros Bioquímicos en Suelos: Medida de Actividades Enzimáticas y Biomasa microbiana*. Ediciones Mundi-Prensa. Murcia, España. Pp. 211-227.
- TRASAR-CEPEDA, M.C., M.C. LEIRÓS, F. GIL-SOTRES & S. SEOANE (2003b). Towards a biochemical quality index for soils: an expresión relating several biological and biochemical properties. *Biology and Fertility of Soils* 26: 100-106.
- TRUMBORE, S.E. (1997). Potential responses of soil organic carbon to environmental change. *Proceedings of the Academy of Natural Science* 94: 8284-8291.
- TULLOCH, A.P. (1976). Chemistry of waxes of higher plants. En: P.E. Kolattukudy (Ed.). *Chemistry and Biochemistry of Natural Waxes*. Elsevier. Amsterdam. Pp. 235-287.

- UNCED (1992). *Agenda 21: Earth Summit-United Nations Program of Action from Río*. United Nations Publication, New York, NY, USA.
- UNEP (1992). *United Nations Environmental Programs. Report of the Executive Director. Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification*. UNEP/GCSS III/3, Governing Council, Third Special Session, Nairobi, Kenya.
- UNFCCC (1994). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. <http://www.unfccc.de>.
- USDA (1998). *Soil Carbon Sequestration: Frequently Asked Questions*. USDA Global Change Fact Sheet. <http://www.usda.gov>.
- USDA (2001). *Carbon Sequestration: Position of the Soil Science Society of America*. SSSA Ad Hoc Committee S893. <http://www.soils.org>.
- VANCE, E.D., P.C. BROOKES & D.S. JENKINSON (1987a). Microbial biomass measurements in forest soils: determination of K_c values and tests of hypothesis to explain the failure of the chloroform fumigation-incubation method in acid soils. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 689-696.
- VANCE, E.D., P.C. BROOKES & D.S. JENKINSON (1987b). Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 697-702.
- VANCE, E.D., P.C. BROOKES & D.S. JENKINSON (1987c). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-707.
- VAN DER MAREL, H.W. & H. BEUTELSPACHER (1976). Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam.
- VAN REEVIJK, L.P. (1993). *Procedures for soil analysis, 4th Ed*. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen, Holanda.
- VAN VEEN, J.A., J.N. LADD & M.J. FRISSEL (1984). Modeling C and N turnover through the microbial biomass in soil. *Plant and Soil* 76: 257-274.
- VARGAS CHÁVEZ, G.E. (2001). Material y métodos. En: G.E. Vargas Chávez (2001). *Salinización inducida en los suelos agrícolas de Canarias: caracterización y prognosis*. Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna (Tenerife, España). Tesis Doctoral, inédita.
- VILLALBA MORENO, E. & A. SANTANA SANTANA (2000). Génesis y evolución geológicas. En: G. González Matos & R. Pérez González (Eds.). *Gran Atlas Temático de Canarias*. Editorial Interinsular Canaria. Santa Cruz de Tenerife, España. Pp. 55-68.
- VITOUSEK, P.M. (1984). Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65 (1): 285-298.

- VITOUSEK, P.M. & L.R. WALKER (1989). Biological invasions by *Myrica faya* in Hawaii: plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects. *Ecological Monographs* 59: 247-265.
- VOGT, K.A., D.J. VOGT, P.A. PALMIOTTO, P. BOON, J.O'HARA & H. ASBJORNSEN (1996). Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type, and species. *Plant and Soil* 187: 159-219.
- VON LÜTZOW, M. & J.C.G. OTTOW (1994). Einfluß von konventioneller und biologisch-dynamischer Bewirtschaftungsweise auf die mikrobielle Biomasse und deren Stickstoff-Dynamik in Parabraunerden der Friedberger Wetterau. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 157: 359-367.
- VON LÜTZOW, M., I. KÖGEL-KNABNER, K. EKSCHEMITT, H. FLESSA, G. GUGGENBERGER, E. MATZNER & B. MARSCHNER (2007). SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 2183-2207.
- VON MERSI, W. & F. SCHINNER (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride. *Biology and Fertility of Soils* 11: 216-220.
- WADA, K. (1989). Allophane and Imogolite. En: J.B. Dixon & S.B. Weed (Eds.). *Minerals in Soil Environments*. SSSA Madisson, WI, U.S.A. Pp. 1051-1087.
- WALKLEY, A. & A. BLACK (1934). An examination of the Degtjereff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
- WANNER, H. (1970). Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *Journal of Ecology* 58: 543-547.
- WARDLE, D.A. (1992). A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews* 67: 321-358.
- WARDLE, D.A. (2002). *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- WEST, A.W., G.P. SPARLING, C.W. FELTHAM & J. REYNOLDS (1992). Microbial activity and survival in soils dried at different rates. *Australian Journal of Soil Research* 30: 209-222.
- WHITTAKER, R.H. & P. MARKS (1975). Methods of Assesing Terrestrial Productivity. En: H. Lieth & R. Whittaker (Eds.). *Primary Productivity of the Biosphere*. Springer, Berlin. Pp. 55-118.
- WILDING, L.P., L.C. NORDT & J.M. KIMBLE (2006). Inorganic Carbon: Global Stocks. En: R. Lal (Ed.). *Encyclopedia of Soil Science*. Second Edition, Vol. I, CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU. Pp. 890-894.

- WILDUNG, R.E., T.R. GARLAND & R.L. BUSCHBOM (1975). The interdependent effects of soil temperature and water content on soil respiration rate and plant root decomposition in arid grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 7: 373-378.
- WILSON, M.A. (1987). *NMR Techniques and Applications in Geochemistry and Soil Chemistry*. Pergamon Press, Oxford.
- YONEBAYASHI, K. & T. HATTORI (1989). Chemical and biological studies on environmental humic acids. II. ¹H-NMR and IR spectra of humic acids. *Soil Science and Plant Nutrition* 35: 383-392.
- ZIBILSKE, L.M. (1994). Carbon mineralization. En: S.H. Mickelson & J.M. Bigham (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, EEUU. Pp. 836-863.
- ZOTARELLI, L., B.J.R. ALVES, S. URQUIAGA, E. TORRES, H.P. DOS SANTOS, K. PAUSTIAN, R.M. BODDEY & J. SIX (2005). Impact of tillage and crop rotation on aggregate-associated carbon in two Oxisols. *Soil Science Society of America Journal* 69: 482-491.

X. ANEXOS

X.1. CUANTIFICACIÓN DE LOS APORTES DE HOJARASCA

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 18,7 | 2,85 | 1,35 | 0,45 | 0,64 | 5,77 | 2,49 | 1,98 |
| Matorral de Rasca | 0,05 | 0,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,18 | 0,00 |
| Los Aceviños | 103,9 | 230,6 | 126,8 | 157,3 | 46,2 | 96,0 | 78,1 | 88,9 |
| Los Noruegos | 177,5 | 143,2 | 111,7 | 145,8 | 134,7 | 191,9 | 126,0 | 237,2 |
| Palos Pelados | 52,5 | 178,7 | 86,7 | 56,5 | 64,3 | 140,8 | 59,2 | 42,1 |
| Pajaritos | 60,1 | 183,8 | 114,7 | 51,5 | 65,7 | 106,3 | 96,2 | 49,7 |
| Ravelo | 103,1 | 64,8 | 171,7 | 68,8 | 19,8 | 35,8 | 172,5 | 325,1 |
| Los Frailes | 57,1 | 123,5 | 68,3 | 44,6 | 31,5 | 127,1 | 185,3 | 198,6 |
| Pinalito | 137,6 | 103,3 | 151,9 | 38,4 | 80,3 | 121,3 | 117,4 | 260,7 |
| Siete Lomas | 138,2 | 213,7 | 29,0 | 17,5 | 71,0 | 292,3 | 47,3 | 7,57 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 3,10 | 3,31 | 1,60 | 5,63 | 0,91 | 6,61 | 3,62 | 5,27 |
| Matorral de Rasca | 9,25 | 7,90 | 11,2 | 11,0 | 6,29 | 10,6 | 12,5 | 15,5 |
| Los Aceviños | 207,7 | 34,8 | 6,35 | 55,5 | 25,6 | 10,4 | 198,3 | 55,3 |
| Los Noruegos | 18,9 | 19,1 | 19,7 | 11,8 | 31,6 | 9,21 | 13,8 | 61,2 |
| Palos Pelados | 5,45 | 6,15 | 4,92 | 30,8 | 25,9 | 2,61 | 2,84 | 49,2 |
| Pajaritos | 7,89 | 3,87 | 0,00 | 10,6 | 2,76 | 0,69 | 1,61 | 13,7 |
| Ravelo | 10,4 | 6,81 | 53,2 | 40,5 | 8,73 | 0,56 | 3,23 | 255,1 |
| Los Frailes | 19,1 | 21,4 | 16,7 | 13,0 | 19,3 | 16,4 | 8,93 | 146,1 |
| Pinalito | 118,9 | 9,48 | 28,9 | 20,7 | 47,4 | 40,8 | 102,6 | 370,0 |
| Siete Lomas | 91,4 | 2,67 | 3,03 | 0,54 | 4,10 | 5,19 | 6,44 | 1,71 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 7,98 | 1,21 | 0,53 | 0,19 | 0,26 | 2,42 | 1,15 | 0,84 |
| Matorral de Rasca | 0,02 | 0,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,07 | 0,00 |
| Los Aceviños | 48,1 | 103,8 | 57,4 | 70,5 | 20,1 | 43,9 | 37,2 | 41,2 |
| Los Noruegos | 85,0 | 81,5 | 50,5 | 65,1 | 59,7 | 88,5 | 60,8 | 107,2 |
| Palos Pelados | 26,0 | 86,0 | 39,3 | 26,1 | 30,5 | 71,1 | 29,3 | 18,2 |
| Pajaritos | 27,5 | 81,9 | 52,5 | 23,5 | 28,7 | 48,8 | 44,4 | 24,2 |
| Ravelo | 48,6 | 28,9 | 76,5 | 31,1 | 8,72 | 15,5 | 79,4 | 155,0 |
| Los Frailes | 27,3 | 65,8 | 31,0 | 20,1 | 13,7 | 58,2 | 84,1 | 93,1 |
| Pinalito | 66,4 | 51,0 | 70,3 | 17,6 | 36,1 | 55,5 | 57,0 | 119,3 |
| Siete Lomas | 62,8 | 99,0 | 11,8 | 8,01 | 30,8 | 131,5 | 21,4 | 3,74 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 1,31 | 1,38 | 0,61 | 2,29 | 0,34 | 2,67 | 1,41 | 2,24 |
| Matorral de Rasca | 4,05 | 3,42 | 4,67 | 4,51 | 2,72 | 4,51 | 5,39 | 6,66 |
| Los Aceviños | 93,6 | 15,1 | 2,67 | 24,0 | 10,7 | 4,52 | 88,7 | 23,7 |
| Los Noruegos | 8,39 | 10,1 | 8,35 | 5,11 | 13,3 | 3,96 | 6,28 | 25,8 |
| Palos Pelados | 2,58 | 3,40 | 2,07 | 13,9 | 12,1 | 1,22 | 1,34 | 21,8 |
| Pajaritos | 3,67 | 1,59 | 0,00 | 4,62 | 1,15 | 0,30 | 0,70 | 6,30 |
| Ravelo | 4,87 | 3,11 | 23,4 | 17,7 | 3,92 | 0,26 | 1,53 | 120,9 |
| Los Frailes | 8,69 | 11,0 | 7,32 | 5,91 | 8,20 | 7,15 | 3,32 | 65,1 |
| Pinalito | 57,1 | 4,49 | 12,4 | 9,15 | 20,6 | 18,2 | 43,1 | 171,9 |
| Siete Lomas | 42,3 | 1,18 | 1,33 | 0,25 | 1,84 | 2,31 | 3,11 | 0,77 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0,11 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 0,01 |
| Matorral de Rasca | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Los Aceviños | 1,04 | 1,96 | 1,47 | 2,55 | 0,57 | 0,61 | 0,62 | 1,04 |
| Los Noruegos | 2,13 | 1,85 | 1,29 | 1,87 | 1,62 | 2,11 | 1,51 | 3,00 |
| Palos Pelados | 0,46 | 1,94 | 0,95 | 0,50 | 0,59 | 1,10 | 0,51 | 0,34 |
| Pajaritos | 0,58 | 1,26 | 0,91 | 0,34 | 0,53 | 0,72 | 0,77 | 0,43 |
| Ravelo | 0,95 | 0,52 | 1,03 | 0,50 | 0,17 | 0,69 | 0,90 | 2,60 |
| Los Frailes | 0,29 | 0,64 | 0,35 | 0,23 | 0,19 | 0,54 | 1,32 | 1,24 |
| Pinalito | 0,62 | 0,52 | 0,65 | 0,19 | 0,34 | 0,40 | 0,49 | 2,22 |
| Siete Lomas | 2,90 | 3,81 | 0,30 | 0,37 | 1,63 | 5,47 | 0,86 | 0,22 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| Matorral de Rasca | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,08 |
| Los Aceviños | 2,02 | 0,15 | 0,05 | 0,39 | 0,17 | 0,04 | 0,44 | 0,30 |
| Los Noruegos | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,09 | 0,23 | 0,11 | 0,11 | 0,50 |
| Palos Pelados | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,18 | 0,17 | 0,02 | 0,02 | 0,23 |
| Pajaritos | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,08 |
| Ravelo | 0,05 | 0,03 | 0,19 | 0,13 | 0,05 | 0,00 | 0,02 | 0,91 |
| Los Frailes | 0,07 | 0,09 | 0,06 | 0,05 | 0,07 | 0,06 | 0,05 | 0,65 |
| Pinalito | 0,38 | 0,05 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,12 | 0,23 | 1,11 |
| Siete Lomas | 0,93 | 0,04 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,14 | 0,02 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-breza arbóreo; *Pajaritos*: breza arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-breza; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 72,0 | 54,7 | 48,5 | 41,3 | 50,0 | 48,7 | 32,8 | 64,6 |
| Matorral de Rasca | n.d. | 39,7 | - | - | - | - | n.d. | - |
| Los Aceviños | 46,2 | 52,9 | 39,1 | 27,7 | 35,0 | 71,5 | 60,0 | 39,7 |
| Los Noruegos | 39,8 | 44,0 | 39,2 | 34,8 | 37,0 | 42,0 | 40,4 | 35,7 |
| Palos Pelados | 57,1 | 44,5 | 41,2 | 52,4 | 52,2 | 64,6 | 57,9 | 54,3 |
| Pajaritos | 47,3 | 65,3 | 57,8 | 69,0 | 54,5 | 68,1 | 57,8 | 55,9 |
| Ravelo | 51,2 | 55,3 | 74,3 | 62,3 | 50,0 | 22,3 | 87,8 | 59,7 |
| Los Frailes | 95,3 | 103,2 | 88,6 | 86,3 | 72,8 | 107,4 | 63,7 | 75,4 |
| Pinalito | 108,1 | 98,2 | 109,0 | 93,0 | 106,6 | 140,6 | 115,4 | 53,8 |
| Siete Lomas | 21,6 | 26,0 | 39,0 | 21,5 | 18,8 | 24,0 | 24,9 | 17,1 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 66,8 | 67,7 | 51,8 | 53,1 | 53,6 | 55,1 | 36,5 | 70,8 |
| Matorral de Rasca | 91,2 | 97,2 | 88,2 | 78,8 | 128,9 | 82,7 | 50,4 | 85,1 |
| Los Aceviños | 46,4 | 98,8 | 54,0 | 61,9 | 65,1 | 109,5 | 204,2 | 78,0 |
| Los Noruegos | 56,6 | 57,9 | 49,5 | 55,1 | 58,8 | 35,1 | 56,3 | 51,7 |
| Palos Pelados | 86,8 | 71,8 | 52,9 | 76,6 | 71,4 | 71,4 | 60,8 | 95,3 |
| Pajaritos | 78,3 | 138,3 | - | 91,4 | 86,5 | 91,4 | 91,4 | 84,3 |
| Ravelo | 95,7 | 91,1 | 120,9 | 133,3 | 86,1 | 101,4 | 79,7 | 133,6 |
| Los Frailes | 120,7 | 120,6 | 116,2 | 119,3 | 119,4 | 113,7 | 73,9 | 99,8 |
| Pinalito | 148,5 | 91,7 | 123,9 | 93,0 | 138,5 | 150,9 | 188,3 | 154,5 |
| Siete Lomas | 45,3 | 32,2 | 32,5 | 36,4 | 146,2 | 33,8 | 23,0 | 36,4 |

X.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RAÍCES DE LOS HORIZONTES SUPERFICIALES DEL SUELO

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0,60 | 0,56 | 0,41 | 0,39 | 0,92 | 0,16 | 2,14 | 0,34 |
| Matorral de Rasca | 0,07 | 0,03 | 0,13 | 0,04 | 0,07 | 0,14 | 0,00 | 0,01 |
| Los Aceviños | 2,19 | 1,51 | 1,43 | 1,75 | 1,41 | 3,39 | 1,39 | 1,78 |
| Los Noruegos | 3,95 | 2,72 | 1,90 | 1,27 | 1,74 | 2,81 | 1,94 | 5,53 |
| Palos Pelados | 4,24 | 3,72 | 2,66 | 4,24 | 2,77 | 5,31 | 2,83 | 2,35 |
| Pajaritos | 2,54 | 5,96 | 2,41 | 4,65 | 4,58 | 2,53 | 5,61 | 4,20 |
| Ravelo | 0,58 | 1,33 | 0,76 | 0,76 | 1,06 | 1,45 | 0,52 | 0,63 |
| Los Frailes | 1,56 | 1,55 | 0,94 | 1,01 | 0,95 | 2,02 | 1,03 | 1,02 |
| Pinalito | 1,55 | 0,61 | 1,40 | 0,92 | 0,67 | 0,84 | 0,77 | 0,74 |
| Siete Lomas | 2,17 | 1,41 | 1,72 | 0,74 | 1,09 | 0,84 | 0,98 | 0,27 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezal arbóreo; *Pajaritos*: brezal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0,26 | 0,26 | 0,19 | 0,17 | 0,40 | 0,06 | 0,90 | 0,14 |
| Matorral de Rasca | 0,03 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,06 | 0,00 | 0,00 |
| Los Aceviños | 0,90 | 0,73 | 0,61 | 0,76 | 0,62 | 1,42 | 0,60 | 0,76 |
| Los Noruegos | 1,52 | 1,30 | 0,79 | 0,53 | 0,77 | 1,19 | 0,84 | 2,39 |
| Palos Pelados | 1,98 | 1,82 | 1,15 | 1,86 | 1,20 | 2,23 | 1,21 | 1,01 |
| Pajaritos | 1,13 | 2,72 | 1,00 | 2,12 | 1,91 | 1,09 | 2,38 | 1,77 |
| Ravelo | 0,25 | 0,62 | 0,33 | 0,33 | 0,46 | 0,60 | 0,23 | 0,25 |
| Los Frailes | 0,63 | 0,71 | 0,40 | 0,43 | 0,41 | 0,86 | 0,43 | 0,43 |
| Pinalito | 0,68 | 0,29 | 0,60 | 0,40 | 0,28 | 0,35 | 0,32 | 0,30 |
| Siete Lomas | 0,87 | 0,66 | 0,77 | 0,33 | 0,47 | 0,36 | 0,42 | 0,11 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 4,13 | 4,01 | 2,42 | 2,24 | 6,03 | 1,40 | 14,7 | 2,38 |
| Matorral de Rasca | 0,34 | 0,16 | 0,61 | 0,16 | 0,28 | 0,48 | 0,00 | 0,02 |
| Los Aceviños | 15,3 | 13,6 | 9,75 | 11,4 | 8,30 | 21,2 | 10,2 | 10,1 |
| Los Noruegos | 25,6 | 28,4 | 15,4 | 9,80 | 10,0 | 8,15 | 13,4 | 31,2 |
| Palos Pelados | 16,1 | 14,2 | 9,68 | 18,7 | 11,2 | 20,4 | 15,1 | 8,47 |
| Pajaritos | 11,3 | 26,8 | 8,75 | 14,2 | 18,5 | 8,98 | 15,3 | 14,9 |
| Ravelo | 3,36 | 8,60 | 2,65 | 4,34 | 4,87 | 5,09 | 1,98 | 3,51 |
| Los Frailes | 6,00 | 6,51 | 3,23 | 2,94 | 3,46 | 17,6 | 3,02 | 2,73 |
| Pinalito | 5,62 | 1,69 | 3,42 | 2,41 | 1,89 | 2,19 | 1,83 | 1,45 |
| Siete Lomas | 39,9 | 19,8 | 23,8 | 10,4 | 19,6 | 13,5 | 16,3 | 4,06 |

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 61,9 | 64,3 | 77,1 | 77,0 | 66,0 | 46,1 | 61,4 | 57,7 |
| Matorral de Rasca | 85,0 | 96,1 | 87,3 | 111,9 | 98,6 | 117,3 | 117,6 | 111,8 |
| Los Aceviños | 58,9 | 54,0 | 62,9 | 66,0 | 74,9 | 67,0 | 58,2 | 74,6 |
| Los Noruegos | 59,2 | 45,9 | 50,9 | 53,9 | 77,1 | 145,8 | 62,2 | 76,6 |
| Palos Pelados | 123,5 | 128,3 | 118,9 | 99,9 | 107,4 | 109,6 | 80,3 | 119,8 |
| Pajaritos | 100,0 | 101,5 | 114,3 | 149,5 | 103,0 | 121,3 | 155,3 | 119,3 |
| Ravelo | 73,3 | 71,8 | 124,2 | 75,8 | 94,8 | 117,8 | 117,3 | 71,7 |
| Los Frailes | 105,5 | 109,6 | 125,0 | 147,7 | 118,2 | 49,0 | 140,9 | 156,3 |
| Pinalito | 120,7 | 174,1 | 176,7 | 163,7 | 148,7 | 158,8 | 172,6 | 208,9 |
| Siete Lomas | 21,8 | 33,5 | 32,4 | 31,5 | 24,0 | 26,4 | 25,7 | 27,9 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: tabaibal dulce halófilo; *Matorral de Rasca*: matorral árido de sustitución; *Los Aceviños*: laurisilva de valle; *Los Noruegos*: laurisilva de ladera; *Palos Pelados*: fayal-brezaal arbóreo; *Pajaritos*: brezaal arbustivo; *Ravelo*: plantación de pino de Monterrey (*Pinus radiata*) con sotobosque de fayal-brezaal; *Los Frailes*: pinar húmedo; *Pinalito*: pinar xérico; *Siete Lomas*: escobonal.

X.3. DATOS ANALÍTICOS DE LOS SUELOS

X.3.1. Características generales del suelo

| Tabla X.13. Humedad del suelo (%) | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 3,42 | 2,98 | 5,63 | 4,03 | 6,83 | 3,28 | 4,11 | 11,7 |
| | 15-30 cm | 5,53 | 4,42 | 5,66 | 5,02 | 6,74 | 5,38 | 5,42 | 11,2 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 5,61 | 3,86 | 5,98 | 4,54 | 6,34 | 3,05 | 4,43 | 12,7 |
| | 15-30 cm | 7,56 | 7,38 | 8,17 | 6,79 | 8,53 | 5,35 | 6,75 | 12,2 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 79,2 | 65,7 | 122,5 | 118,4 | 107,5 | 47,5 | 104,1 | 101,2 |
| | 15-30 cm | 89,5 | 59,2 | 79,1 | 70,7 | 70,5 | 40,3 | 70,5 | 84,1 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 97,5 | 20,0 | 63,4 | 47,1 | 47,7 | 24,6 | 51,7 | 52,9 |
| | 15-30 cm | 70,2 | 29,7 | 48,8 | 41,7 | 51,5 | 28,3 | 42,7 | 51,5 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 53,1 | 35,1 | 59,2 | 53,8 | 70,5 | 39,5 | 56,3 | 69,6 |
| | 15-30 cm | 47,6 | 39,4 | 46,4 | 44,0 | 49,6 | 36,8 | 43,5 | 58,8 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 69,0 | 16,5 | 47,1 | 32,3 | 32,0 | 27,3 | 28,1 | 55,3 |
| | 15-30 cm | 26,3 | 22,0 | 34,9 | 32,6 | 49,6 | 33,8 | 26,5 | 48,5 |
| Ravelo | 0-15 cm | 80,5 | 39,8 | 85,9 | 76,0 | 84,7 | 33,4 | 75,3 | 75,7 |
| | 15-30 cm | 75,8 | 47,0 | 78,0 | 69,5 | 82,5 | 42,2 | 71,2 | 78,4 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 37,4 | 16,4 | 30,4 | 34,9 | 44,5 | 11,4 | 32,5 | 44,2 |
| | 15-30 cm | 42,7 | 23,6 | 28,3 | 31,7 | 38,9 | 18,0 | 27,0 | 42,9 |
| Pinalito | 0-15 cm | 14,7 | 5,2 | 13,0 | 9,1 | 22,4 | 4,9 | 16,9 | 27,4 |
| | 15-30 cm | 17,7 | 10,6 | 18,1 | 12,6 | 23,0 | 11,4 | 17,3 | 25,9 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 22,0 | 9,0 | 26,8 | 20,0 | 28,6 | 12,8 | 19,1 | 29,3 |
| | 15-30 cm | 22,9 | 24,8 | 34,7 | 35,7 | 41,8 | 19,9 | 30,7 | 32,6 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.14. pH del extracto saturado del suelo | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 7,9 | 7,6 | 8,1 | 8,0 | 8,1 | 7,7 | 8,2 | 8,0 |
| | 15-30 cm | 8,1 | 7,5 | 7,7 | 7,6 | 7,9 | 7,4 | 7,9 | 8,2 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 8,1 | 7,9 | 7,9 | 8,0 | 8,1 | 8,5 | 8,4 | 8,5 |
| | 15-30 cm | 8,2 | 8,3 | 8,4 | 8,3 | 8,5 | 8,5 | 8,4 | 8,5 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 5,8 | 5,5 | 5,6 | 6,1 | 6,1 | 5,8 | 5,5 | 5,9 |
| | 15-30 cm | 5,5 | 6,0 | 5,8 | 5,8 | 6,6 | 5,8 | 5,5 | 5,4 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 5,1 | 4,9 | 5,1 | 4,9 |
| | 15-30 cm | 4,8 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 5,4 | 5,0 | 5,1 | 4,7 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 5,4 | 4,9 | 5,3 | 5,3 | 5,8 | 5,1 | 5,2 | 5,1 |
| | 15-30 cm | 4,5 | 4,8 | 5,1 | 5,0 | 5,3 | 5,0 | 5,1 | 5,0 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 5,3 | 5,2 | 5,3 | 5,2 | 5,1 | 5,2 | 5,1 | 5,2 |
| | 15-30 cm | 5,3 | 5,2 | 5,2 | 5,0 | 5,1 | 5,2 | 4,7 | 4,8 |
| Ravelo | 0-15 cm | 5,6 | 5,5 | 5,5 | 5,8 | 5,8 | 5,7 | 5,5 | 5,7 |
| | 15-30 cm | 5,6 | 5,6 | 5,5 | 5,5 | 5,8 | 5,3 | 5,1 | 5,2 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 6,9 | 6,2 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,5 | 6,4 | 6,6 |
| | 15-30 cm | 6,6 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,6 | 6,5 | 6,0 | 6,1 |
| Pinalito | 0-15 cm | 6,2 | 5,2 | 6,1 | 6,3 | 5,7 | 5,8 | 5,9 | 6,0 |
| | 15-30 cm | 6,1 | 6,3 | 6,5 | 6,3 | 5,2 | 6,0 | 6,1 | 5,1 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 5,0 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| | 15-30 cm | 4,7 | 5,3 | 4,6 | 4,5 | 4,6 | 4,6 | 4,4 | 4,3 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.15. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) del extracto saturado del suelo | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 1020 | 950 | 985 | 1887 | 905 | 5050 | 906 | 840 |
| | 15-30 cm | 1220 | 2240 | 4700 | 7080 | 2420 | 16120 | 3950 | 875 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 2450 | 3660 | 3710 | 1882 | 650 | 970 | 971 | 864 |
| | 15-30 cm | 2200 | 2190 | 1772 | 1630 | 886 | 1116 | 918 | 732 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 521 | 688 | 571 | 548 | 570 | 678 | 438 | 453 |
| | 15-30 cm | 253 | 402 | 339 | 336 | 215 | 314 | 289 | 344 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 839 | 499 | 611 | 809 | 373 | 353 | 344 | 270 |
| | 15-30 cm | 347 | 322 | 338 | 300 | 254 | 346 | 277 | 241 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 649 | 703 | 618 | 495 | 619 | 905 | 650 | 440 |
| | 15-30 cm | 1339 | 962 | 746 | 712 | 611 | 834 | 590 | 501 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 491 | 431 | 625 | 664 | 659 | 621 | 775 | 516 |
| | 15-30 cm | 428 | 375 | 516 | 613 | 511 | 508 | 965 | 447 |
| Ravelo | 0-15 cm | 272 | 421 | 260 | 245 | 302 | 419 | 445 | 223 |
| | 15-30 cm | 183 | 210 | 285 | 243 | 225 | 308 | 418 | 204 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 601 | 385 | 389 | 296 | 475 | 675 | 590 | 227 |
| | 15-30 cm | 418 | 300 | 290 | 246 | 222 | 458 | 433 | 156 |
| Pinalito | 0-15 cm | 591 | 1973 | 741 | 570 | 588 | 481 | 377 | 528 |
| | 15-30 cm | 468 | 526 | 412 | 463 | 834 | 229 | 223 | 408 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 817 | 882 | 1010 | 1169 | 965 | 872 | 962 | 1199 |
| | 15-30 cm | 417 | 483 | 570 | 660 | 628 | 649 | 529 | 442 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

X.3.2. Contenido y formas del carbono del suelo

| Tabla X.16. Contenido de C-oxidable total (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 4,61 | 4,45 | 3,24 | 5,75 | 4,45 | 1,88 | 4,44 | 4,29 |
| | 15-30 cm | 3,05 | 2,78 | 2,09 | 3,38 | 2,19 | 1,59 | 2,29 | 2,22 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 3,58 | 3,25 | 2,38 | 2,06 | 1,47 | 1,75 | 1,56 | 2,02 |
| | 15-30 cm | 2,47 | 2,09 | 1,65 | 1,61 | 1,30 | 1,70 | 1,45 | 1,13 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 165,8 | 213,2 | 230,6 | 198,0 | 164,2 | 111,2 | 198,8 | 151,0 |
| | 15-30 cm | 116,4 | 106,2 | 107,5 | 103,3 | 88,9 | 53,0 | 97,8 | 101,4 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 213,0 | 176,9 | 188,6 | 205,9 | 155,8 | 123,0 | 122,0 | 125,4 |
| | 15-30 cm | 122,3 | 118,4 | 93,0 | 96,4 | 86,7 | 95,0 | 96,1 | 85,8 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 203,1 | 195,1 | 184,0 | 204,1 | 224,2 | 192,3 | 205,4 | 165,9 |
| | 15-30 cm | 131,6 | 146,6 | 136,3 | 142,7 | 139,7 | 129,5 | 163,3 | 140,5 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 200,1 | 199,0 | 169,0 | 142,0 | 160,4 | 173,5 | 169,2 | 116,5 |
| | 15-30 cm | 102,9 | 99,7 | 96,4 | 78,7 | 86,5 | 122,8 | 105,6 | 97,9 |
| Ravelo | 0-15 cm | 182,3 | 179,1 | 163,2 | 165,7 | 165,7 | 124,5 | 140,8 | 134,9 |
| | 15-30 cm | 113,1 | 102,6 | 131,7 | 119,5 | 111,4 | 94,0 | 101,8 | 107,3 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 48,6 | 77,2 | 66,9 | 60,1 | 86,1 | 68,7 | 47,6 | 43,4 |
| | 15-30 cm | 25,3 | 41,8 | 25,0 | 27,2 | 27,1 | 36,4 | 31,3 | 22,8 |
| Pinalito | 0-15 cm | 46,6 | 116,2 | 46,1 | 32,0 | 50,6 | 36,6 | 20,2 | 28,2 |
| | 15-30 cm | 23,3 | 30,1 | 13,3 | 14,3 | 17,9 | 14,5 | 11,6 | 11,5 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 115,8 | 112,0 | 138,3 | 149,8 | 130,2 | 72,4 | 85,8 | 81,0 |
| | 15-30 cm | 68,6 | 68,5 | 70,1 | 70,6 | 67,4 | 52,0 | 44,6 | 43,1 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.17. Contenido de N-total (g kg^{-1}) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,42 | 0,43 | 0,35 | 0,17 | 0,43 | 0,24 | 0,42 | 0,47 |
| | 15-30 cm | 0,28 | 0,24 | 0,25 | 0,36 | 0,23 | 0,18 | 0,26 | 0,26 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,40 | 0,35 | 0,29 | 0,24 | 0,22 | 0,22 | 0,26 | 0,25 |
| | 15-30 cm | 0,25 | 0,17 | 0,25 | 0,22 | 0,20 | 0,19 | 0,23 | 0,21 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 10,0 | 12,2 | 13,9 | 12,5 | 11,7 | 8,21 | 11,6 | 9,43 |
| | 15-30 cm | 7,82 | 7,82 | 8,28 | 8,32 | 6,58 | 4,71 | 6,45 | 7,75 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 11,6 | 8,60 | 10,4 | 11,7 | 8,62 | 7,31 | 6,67 | 7,66 |
| | 15-30 cm | 7,29 | 6,47 | 6,08 | 6,05 | 5,29 | 5,66 | 5,55 | 4,96 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 10,2 | 10,3 | 11,1 | 11,4 | 13,0 | 11,3 | 11,5 | 9,89 |
| | 15-30 cm | 6,80 | 8,20 | 7,97 | 8,14 | 8,05 | 7,14 | 9,04 | 7,99 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 10,3 | 10,0 | 9,57 | 7,51 | 9,20 | 9,29 | 8,41 | 6,31 |
| | 15-30 cm | 4,70 | 5,31 | 4,79 | 4,63 | 5,42 | 6,29 | 5,48 | 5,26 |
| Ravelo | 0-15 cm | 10,1 | 9,55 | 9,67 | 10,3 | 9,88 | 8,52 | 8,93 | 8,58 |
| | 15-30 cm | 7,82 | 6,82 | 8,30 | 8,27 | 8,12 | 7,22 | 6,30 | 7,68 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 2,23 | 3,49 | 3,23 | 3,42 | 3,97 | 3,28 | 2,55 | 2,33 |
| | 15-30 cm | 0,90 | 1,90 | 1,49 | 1,67 | 1,64 | 2,20 | 1,74 | 1,42 |
| Pinalito | 0-15 cm | 2,13 | 4,27 | 1,91 | 1,32 | 2,45 | 1,77 | 0,97 | 1,39 |
| | 15-30 cm | 0,80 | 1,31 | 0,75 | 0,72 | 0,76 | 0,72 | 0,61 | 0,59 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 10,9 | 9,45 | 12,2 | 12,6 | 11,8 | 6,94 | 8,58 | 6,81 |
| | 15-30 cm | 6,25 | 6,19 | 6,44 | 6,71 | 6,43 | 4,76 | 3,80 | 3,64 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.18. Relación C/N del suelo | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 10,9 | 10,4 | 9,2 | 34,7 | 10,3 | 7,8 | 10,4 | 9,1 |
| | 15-30 cm | 11,1 | 11,8 | 8,3 | 9,5 | 9,7 | 8,9 | 8,8 | 8,5 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 9,0 | 9,4 | 8,2 | 8,5 | 6,8 | 7,8 | 6,1 | 8,0 |
| | 15-30 cm | 10,0 | 12,2 | 6,6 | 7,4 | 6,4 | 8,8 | 6,2 | 5,4 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 16,5 | 17,5 | 16,5 | 15,8 | 14,0 | 13,5 | 17,1 | 16,0 |
| | 15-30 cm | 14,9 | 13,6 | 13,0 | 12,4 | 13,5 | 11,3 | 15,2 | 13,1 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 18,4 | 20,6 | 18,2 | 17,6 | 18,1 | 16,8 | 18,3 | 16,4 |
| | 15-30 cm | 16,8 | 18,3 | 15,3 | 15,9 | 16,4 | 16,8 | 17,3 | 17,3 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 19,8 | 18,9 | 16,5 | 17,9 | 17,3 | 17,1 | 17,8 | 16,8 |
| | 15-30 cm | 19,4 | 17,9 | 17,1 | 17,5 | 17,4 | 18,1 | 18,1 | 17,6 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 19,5 | 19,9 | 17,7 | 18,9 | 17,4 | 18,7 | 20,1 | 18,5 |
| | 15-30 cm | 21,9 | 18,8 | 20,1 | 17,0 | 16,0 | 19,5 | 19,3 | 18,6 |
| Ravelo | 0-15 cm | 18,0 | 18,8 | 16,9 | 16,1 | 16,8 | 14,6 | 15,8 | 15,7 |
| | 15-30 cm | 14,5 | 15,0 | 15,9 | 14,4 | 13,7 | 13,0 | 16,1 | 14,0 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 21,8 | 22,1 | 20,7 | 17,6 | 21,7 | 21,0 | 18,6 | 18,6 |
| | 15-30 cm | 28,1 | 22,0 | 16,8 | 16,3 | 16,5 | 16,6 | 18,0 | 16,1 |
| Pinalito | 0-15 cm | 21,8 | 27,2 | 24,2 | 24,3 | 20,7 | 20,7 | 20,9 | 20,4 |
| | 15-30 cm | 29,1 | 23,0 | 17,7 | 19,8 | 23,7 | 20,1 | 19,0 | 19,4 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 10,7 | 11,9 | 11,4 | 11,8 | 11,0 | 10,4 | 10,0 | 11,9 |
| | 15-30 cm | 11,0 | 11,1 | 10,9 | 10,5 | 10,5 | 10,9 | 11,7 | 11,8 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.19. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 53,9 | 50,1 | 52,1 | 54,0 | 58,7 | 38,5 | 56,0 | 46,6 |
| | 15-30 cm | 50,1 | 41,8 | 42,9 | 45,6 | 36,5 | 29,4 | 50,4 | 53,1 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 67,8 | 58,3 | 55,6 | 63,7 | 54,4 | 60,5 | 53,2 | 55,0 |
| | 15-30 cm | 65,7 | 53,2 | 46,9 | 50,4 | 41,5 | 50,5 | 50,1 | 45,6 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 72,1 | 68,8 | 70,5 | 75,0 | 75,3 | 79,6 | 80,5 | 81,9 |
| | 15-30 cm | 60,9 | 66,6 | 62,4 | 65,0 | 64,1 | 66,9 | 77,9 | 73,8 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 52,0 | 65,2 | 54,9 | 49,7 | 55,3 | 62,7 | 53,7 | 46,9 |
| | 15-30 cm | 38,4 | 38,0 | 42,6 | 39,3 | 45,0 | 58,9 | 53,4 | 50,0 |
| Ravelo | 0-15 cm | 69,4 | 67,9 | 63,0 | 64,2 | 65,6 | 60,8 | 61,7 | 62,9 |
| | 15-30 cm | 53,9 | 46,1 | 55,4 | 51,8 | 47,6 | 52,2 | 48,1 | 54,9 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 17,0 | 31,6 | 25,1 | 25,2 | 27,4 | 29,3 | 20,4 | 18,9 |
| | 15-30 cm | 11,2 | 17,9 | 9,19 | 13,1 | 10,8 | 14,2 | 13,1 | 10,5 |
| Pinalito | 0-15 cm | 20,6 | 47,8 | 16,6 | 10,8 | 14,7 | 15,4 | 8,00 | 10,9 |
| | 15-30 cm | 12,1 | 9,76 | 8,00 | 7,89 | 6,53 | 7,43 | 5,89 | 6,43 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 45,4 | 42,7 | 53,7 | 62,8 | 57,5 | 33,9 | 42,4 | 42,4 |
| | 15-30 cm | 36,7 | 32,3 | 33,8 | 33,5 | 32,2 | 28,2 | 25,2 | 24,6 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.20. Hierro extraído con pirofosfato 0,1M (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 6,63 | 6,65 | 10,2 | 5,63 | 7,26 | 6,09 | 5,27 | 5,71 |
| | 15-30 cm | 8,07 | 10,5 | 28,7 | 10,1 | 8,15 | 7,30 | 7,24 | 7,55 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 4,45 | 6,01 | 13,8 | 4,90 | 5,98 | 5,52 | 6,69 | 5,82 |
| | 15-30 cm | 5,94 | 9,38 | 20,1 | 8,90 | 7,41 | 6,34 | 7,34 | 6,12 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 11,4 | 14,0 | 31,5 | 13,1 | 10,8 | 8,86 | 10,3 | 10,5 |
| | 15-30 cm | 19,2 | 23,8 | 25,7 | 21,7 | 16,4 | 15,0 | 12,4 | 12,4 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 2,57 | 7,54 | 5,83 | 3,96 | 4,66 | 3,72 | 3,51 | 3,13 |
| | 15-30 cm | 4,96 | 14,1 | 6,28 | 5,72 | 9,33 | 5,70 | 6,48 | 5,93 |
| Ravelo | 0-15 cm | 3,50 | 4,07 | 3,59 | 3,68 | 4,23 | 3,69 | 4,49 | 3,70 |
| | 15-30 cm | 4,51 | 3,51 | 3,45 | 4,06 | 4,69 | 3,78 | 4,27 | 3,97 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,60 | 0,23 | 0,87 | 0,88 | 1,06 | 0,94 | 1,04 | 1,09 |
| | 15-30 cm | 0,55 | 0,19 | 0,98 | 0,86 | 1,20 | 1,06 | 1,25 | 1,07 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,93 | 2,21 | 0,69 | 0,67 | 0,69 | 0,80 | 0,81 | 1,16 |
| | 15-30 cm | 0,68 | 1,72 | 0,84 | 1,05 | 1,21 | 0,81 | 1,12 | 0,77 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 1,52 | 1,24 | 1,78 | 1,49 | 1,72 | 2,73 | 3,71 | 2,89 |
| | 15-30 cm | 2,35 | 1,60 | 2,57 | 2,71 | 2,87 | 2,82 | 4,05 | 4,16 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.21. Aluminio extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 11,5 | 9,42 | 7,94 | 12,0 | 10,9 | 8,98 | 8,55 | 9,68 |
| | 15-30 cm | 14,9 | 15,9 | 15,0 | 19,2 | 10,6 | 9,56 | 11,5 | 12,3 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 11,5 | 12,4 | 10,3 | 9,22 | 9,42 | 9,23 | 9,32 | 10,7 |
| | 15-30 cm | 16,8 | 15,1 | 13,5 | 14,8 | 12,4 | 10,1 | 11,7 | 11,4 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 17,0 | 18,8 | 18,2 | 23,0 | 13,6 | 12,4 | 13,8 | 17,0 |
| | 15-30 cm | 24,1 | 21,3 | 21,8 | 28,2 | 20,8 | 17,2 | 18,4 | 18,4 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 6,58 | 13,5 | 9,36 | 8,17 | 9,04 | 6,85 | 8,24 | 7,21 |
| | 15-30 cm | 9,05 | 13,1 | 10,3 | 10,2 | 13,5 | 11,0 | 12,5 | 12,5 |
| Ravelo | 0-15 cm | 17,1 | 23,4 | 17,7 | 20,3 | 20,0 | 14,9 | 15,4 | 16,4 |
| | 15-30 cm | 17,6 | 15,3 | 17,4 | 18,4 | 18,3 | 15,2 | 12,6 | 16,0 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 1,71 | 3,54 | 3,05 | 2,89 | 4,10 | 2,92 | 2,08 | 2,42 |
| | 15-30 cm | 1,67 | 2,75 | 2,37 | 2,43 | 2,67 | 2,56 | 3,00 | 2,29 |
| Pinalito | 0-15 cm | 1,93 | 1,97 | 1,31 | 1,05 | 1,76 | 1,22 | 1,11 | 1,43 |
| | 15-30 cm | 1,51 | 1,47 | 1,53 | 1,32 | 1,68 | 1,68 | 1,95 | 1,69 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 7,33 | 8,37 | 8,87 | 8,88 | 8,91 | 7,22 | 7,88 | 8,22 |
| | 15-30 cm | 8,75 | 7,82 | 8,15 | 8,40 | 9,07 | 6,02 | 8,15 | 8,93 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,34 | 0,32 | 0,35 | 0,33 | 0,31 | 0,39 | 0,25 | 0,33 |
| | 15-30 cm | 0,46 | 0,63 | 1,02 | 0,64 | 0,51 | 0,57 | 0,37 | 0,37 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,24 | 0,31 | 0,43 | 0,22 | 0,28 | 0,24 | 0,30 | 0,30 |
| | 15-30 cm | 0,35 | 0,46 | 0,72 | 0,47 | 0,48 | 0,33 | 0,38 | 0,38 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,39 | 0,48 | 0,70 | 0,48 | 0,32 | 0,27 | 0,30 | 0,34 |
| | 15-30 cm | 0,71 | 0,68 | 0,76 | 0,77 | 0,58 | 0,48 | 0,40 | 0,42 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,18 | 0,32 | 0,28 | 0,24 | 0,25 | 0,17 | 0,22 | 0,22 |
| | 15-30 cm | 0,36 | 0,72 | 0,39 | 0,40 | 0,51 | 0,28 | 0,35 | 0,37 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,30 | 0,40 | 0,34 | 0,37 | 0,37 | 0,31 | 0,32 | 0,32 |
| | 15-30 cm | 0,41 | 0,41 | 0,38 | 0,43 | 0,48 | 0,36 | 0,35 | 0,36 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,14 | 0,12 | 0,16 | 0,15 | 0,19 | 0,13 | 0,15 | 0,19 |
| | 15-30 cm | 0,20 | 0,16 | 0,36 | 0,25 | 0,36 | 0,25 | 0,32 | 0,32 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,14 | 0,09 | 0,12 | 0,16 | 0,17 | 0,13 | 0,24 | 0,24 |
| | 15-30 cm | 0,18 | 0,33 | 0,30 | 0,30 | 0,44 | 0,34 | 0,52 | 0,38 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,19 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,18 | 0,29 | 0,27 | 0,26 |
| | 15-30 cm | 0,30 | 0,29 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,31 | 0,48 | 0,53 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.23. Carbono ligado a la biomasa microbiana (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,18 | 0,13 | 0,21 | 0,46 | 0,22 | 0,05 | 0,00 | 0,19 |
| | 15-30 cm | 0,16 | 0,12 | 0,19 | 0,39 | 0,08 | 0,08 | 0,00 | 0,10 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,21 | 0,19 | 0,20 | 0,29 | 0,06 | 0,09 | 0,00 | 0,17 |
| | 15-30 cm | 0,13 | 0,06 | 0,22 | 0,26 | 0,09 | 0,08 | 0,00 | 0,04 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 2,16 | 2,41 | 1,95 | 3,01 | 3,23 | 1,54 | 5,96 | 2,10 |
| | 15-30 cm | 1,49 | 1,45 | 1,14 | 1,27 | 1,61 | 0,24 | 3,11 | 1,50 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 1,88 | 1,25 | 2,21 | 1,61 | 2,03 | 1,30 | 2,48 | 1,15 |
| | 15-30 cm | 1,40 | 1,54 | 1,18 | 1,17 | 1,71 | 0,78 | 1,55 | 0,84 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 1,83 | 3,06 | 2,05 | 2,19 | 2,88 | 3,29 | 4,36 | 3,15 |
| | 15-30 cm | 1,19 | 1,78 | 1,47 | 1,66 | 1,70 | 1,55 | 3,39 | 1,38 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 2,83 | 2,42 | 1,94 | 1,69 | 1,85 | 3,30 | 1,82 | 2,52 |
| | 15-30 cm | 1,04 | 1,56 | 0,95 | 1,07 | 1,17 | 2,64 | 1,84 | 1,51 |
| Ravelo | 0-15 cm | 1,16 | 1,10 | 1,66 | 1,42 | 2,49 | 1,09 | 3,13 | 1,23 |
| | 15-30 cm | 0,98 | 0,67 | 1,33 | 0,76 | 2,19 | 0,84 | 2,13 | 2,10 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,58 | 0,88 | 1,01 | 0,91 | 1,44 | 1,04 | 1,06 | 0,91 |
| | 15-30 cm | 0,44 | 0,53 | 0,60 | 0,62 | 1,05 | 0,53 | 0,56 | 0,83 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,93 | 2,34 | 0,89 | 0,68 | 1,47 | 0,87 | 0,85 | 0,74 |
| | 15-30 cm | 0,37 | 0,45 | 0,46 | 0,31 | 0,55 | 0,32 | 0,28 | 0,41 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,77 | 0,57 | 1,49 | 1,11 | 1,50 | 0,56 | 1,07 | 1,15 |
| | 15-30 cm | 0,40 | 0,53 | 0,77 | 0,78 | 0,70 | 0,49 | 0,36 | 0,52 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.24. Carbono soluble en sulfato potásico 0,5M (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,11 | 0,20 | 0,10 | 0,15 | 0,09 | 0,28 | 0,49 | 0,08 |
| | 15-30 cm | 0,08 | 0,17 | 0,17 | 0,13 | 0,09 | 0,52 | 0,31 | 0,09 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,06 | 0,02 | 0,15 | 0,20 | 0,06 |
| | 15-30 cm | 0,08 | 0,07 | 0,12 | 0,07 | 0,02 | 0,11 | 0,25 | 0,08 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,42 | 0,39 | 0,60 | 0,53 | 0,49 | 0,78 | 1,01 | 0,29 |
| | 15-30 cm | 0,47 | 0,21 | 0,32 | 0,33 | 0,27 | 0,69 | 0,69 | 0,24 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,64 | 0,85 | 0,77 | 0,71 | 0,61 | 1,01 | 0,94 | 0,37 |
| | 15-30 cm | 0,54 | 0,47 | 0,51 | 0,59 | 0,48 | 1,07 | 0,85 | 0,36 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,66 | 0,64 | 0,61 | 0,64 | 0,65 | 1,20 | 1,02 | 0,49 |
| | 15-30 cm | 0,70 | 0,56 | 0,63 | 0,65 | 0,46 | 0,96 | 0,75 | 0,56 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,69 | 1,10 | 0,72 | 0,80 | 0,59 | 1,38 | 1,63 | 0,65 |
| | 15-30 cm | 0,36 | 0,34 | 0,35 | 0,42 | 0,41 | 0,82 | 0,74 | 0,46 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,51 | 0,55 | 0,58 | 0,60 | 0,59 | 0,63 | 0,98 | 0,37 |
| | 15-30 cm | 0,69 | 0,66 | 0,54 | 0,60 | 0,60 | 0,84 | 0,96 | 0,47 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,24 | 0,51 | 0,34 | 0,33 | 0,37 | 0,71 | 0,64 | 0,18 |
| | 15-30 cm | 0,22 | 0,24 | 0,26 | 0,23 | 0,22 | 0,39 | 0,35 | 0,16 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,34 | 1,44 | 0,39 | 0,26 | 0,32 | 0,54 | 0,39 | 0,28 |
| | 15-30 cm | 0,19 | 0,31 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,31 | 0,40 | 0,16 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,79 | 1,34 | 0,80 | 0,97 | 0,82 | 1,86 | 1,21 | 0,75 |
| | 15-30 cm | 0,99 | 1,84 | 1,65 | 1,55 | 1,69 | 1,69 | 1,79 | 0,94 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.25. Carbono soluble en agua (20°C) (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,11 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,03 | 0,08 | 0,03 | 0,01 |
| | 15-30 cm | 0,09 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,04 | 0,16 | 0,02 | 0,02 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,10 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,01 | 0,02 |
| | 15-30 cm | 0,11 | 0,05 | 0,15 | 0,11 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,02 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,17 | 0,11 | 0,22 | 0,26 | 0,17 | 0,13 | 0,12 | 0,04 |
| | 15-30 cm | 0,13 | 0,10 | 0,19 | 0,10 | 0,14 | 0,05 | 0,16 | 0,02 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,21 | 0,27 | 0,22 | 0,18 | 0,18 | 0,10 | 0,09 | 0,06 |
| | 15-30 cm | 0,14 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,11 | 0,08 | 0,10 | 0,04 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,26 | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,27 | 0,23 | 0,15 | 0,11 |
| | 15-30 cm | 0,20 | 0,22 | 0,21 | 0,20 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,12 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,29 | 0,57 | 0,15 | 0,22 | 0,20 | 0,36 | 0,26 | 0,09 |
| | 15-30 cm | 0,17 | 0,19 | 0,09 | 0,14 | 0,13 | 0,20 | 0,11 | 0,06 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,17 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,12 | 0,13 | 0,05 | 0,03 |
| | 15-30 cm | 0,10 | 0,08 | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,07 | 0,07 | 0,00 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,12 | 0,20 | 0,13 | 0,15 | 0,07 | 0,26 | 0,08 | 0,04 |
| | 15-30 cm | 0,11 | 0,08 | 0,19 | 0,12 | 0,04 | 0,08 | 0,04 | 0,15 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,18 | 0,70 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,22 | 0,09 | 0,11 |
| | 15-30 cm | 0,11 | 0,09 | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,13 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,12 | 0,33 | 0,02 | 0,20 | 0,03 | 0,25 | 0,08 | 0,04 |
| | 15-30 cm | 0,12 | 0,10 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,11 | 0,01 | 0,03 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.26. Carbono soluble en agua caliente (80°C) (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,33 | 0,27 | 0,45 | 0,67 | 0,35 | 0,26 | 0,36 | 0,31 |
| | 15-30 cm | 0,34 | 0,24 | 0,23 | 0,33 | 0,23 | 0,25 | 0,22 | 0,22 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,43 | 0,27 | 0,21 | 0,20 | 0,15 | 0,25 | 0,14 | 0,21 |
| | 15-30 cm | 0,20 | 0,32 | 0,18 | 0,29 | 0,13 | 0,22 | 0,11 | 0,13 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 2,70 | 4,20 | 5,87 | 4,89 | 4,28 | 3,04 | 4,29 | 3,55 |
| | 15-30 cm | 2,00 | 1,85 | 1,88 | 2,09 | 1,74 | 0,97 | 1,60 | 2,05 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 7,61 | 3,68 | 4,51 | 4,76 | 3,86 | 3,04 | 3,11 | 2,72 |
| | 15-30 cm | 2,95 | 3,03 | 1,85 | 2,26 | 1,51 | 2,01 | 1,89 | 1,77 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 5,02 | 5,46 | 5,68 | 5,28 | 6,27 | 5,53 | 4,77 | 4,06 |
| | 15-30 cm | 3,11 | 3,41 | 3,15 | 3,13 | 3,23 | 2,91 | 3,37 | 3,19 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 5,97 | 4,30 | 3,84 | 3,85 | 4,04 | 6,84 | 4,22 | 4,20 |
| | 15-30 cm | 2,49 | 1,86 | 1,68 | 1,48 | 2,27 | 4,24 | 1,79 | 1,91 |
| Ravelo | 0-15 cm | 2,60 | 2,02 | 2,82 | 2,87 | 2,27 | 2,01 | 1,84 | 2,02 |
| | 15-30 cm | 1,05 | 0,90 | 1,72 | 1,15 | 1,18 | 0,83 | 0,66 | 0,92 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,97 | 1,80 | 1,64 | 1,98 | 2,60 | 1,92 | 1,70 | 0,83 |
| | 15-30 cm | 0,59 | 0,91 | 0,64 | 0,62 | 0,80 | 0,94 | 0,46 | 0,42 |
| Pinalito | 0-15 cm | 2,10 | 5,27 | 1,45 | 0,91 | 2,15 | 1,37 | 0,84 | 1,10 |
| | 15-30 cm | 0,83 | 0,89 | 0,46 | 0,43 | 0,61 | 0,54 | 0,29 | 0,23 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 1,55 | 1,89 | 1,94 | 2,52 | 2,82 | 1,41 | 1,51 | 1,61 |
| | 15-30 cm | 0,92 | 0,81 | 0,71 | 0,55 | 0,58 | 0,64 | 0,48 | 0,53 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.27. Carbono disuelto en el extracto saturado (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,01 |
| | 15-30 cm | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| | 15-30 cm | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,58 | 0,95 | 0,58 | 0,48 | 0,38 | 0,45 | 0,35 | 0,37 |
| | 15-30 cm | 0,31 | 0,28 | 0,38 | 0,20 | 0,13 | 0,14 | 0,10 | 0,25 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,28 | 0,71 | 0,46 | 0,44 | 0,30 | 0,43 | 0,16 | 0,24 |
| | 15-30 cm | 0,39 | 0,34 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,40 | 0,17 | 0,17 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,40 | 1,00 | 0,49 | 0,41 | 0,43 | 1,46 | 0,51 | 0,64 |
| | 15-30 cm | 0,52 | 0,77 | 0,40 | 0,41 | 0,53 | 0,67 | 0,44 | 0,65 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,88 | 0,85 | 0,71 | 0,49 | 0,69 | 1,40 | 0,79 | 0,49 |
| | 15-30 cm | 0,57 | 0,52 | 0,22 | 0,17 | 0,29 | 1,11 | 0,19 | 0,26 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,11 | 0,50 | 0,19 | 0,12 | 0,17 | 0,28 | 0,11 | 0,21 |
| | 15-30 cm | 0,18 | 0,21 | 0,14 | 0,08 | 0,09 | 0,24 | 0,08 | 0,14 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,07 | 0,21 | 0,12 | 0,09 | 0,11 | 0,23 | 0,05 | 0,06 |
| | 15-30 cm | 0,05 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,09 | 0,04 | 0,04 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,09 | 0,61 | 0,10 | 0,04 | 0,08 | 0,11 | 0,04 | 0,07 |
| | 15-30 cm | 0,04 | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,02 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,22 | 0,23 | 0,13 | 0,24 | 0,21 | 0,20 | 0,12 | 0,11 |
| | 15-30 cm | 0,07 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,07 | 0,03 | 0,04 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.28. Carbono en forma de bicarbonatos (C-HCO ₃ ⁻) (g kg ⁻¹ , e.s.) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,28 | 0,25 | 0,32 | 0,34 | 0,34 | 0,16 | 0,31 | 0,19 |
| | 15-30 cm | 0,32 | 0,19 | 0,14 | 0,13 | 0,17 | 0,09 | 0,16 | 0,22 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,27 | 0,28 | 0,13 | 0,17 | 0,16 | 0,22 | 0,16 | 0,23 |
| | 15-30 cm | 0,16 | 0,14 | 0,16 | 0,13 | 0,13 | 0,17 | 0,16 | 0,15 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Noruegos | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Palos Pelados | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pajaritos | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ravelo | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Frailes | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pinalito | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Siete Lomas | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.29. Carbono en forma de carbonatos (C-CaCO ₃) (g kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,21 | 0,12 | 0,07 | 0,04 | 0,20 | 0,14 | 0,06 | 0,07 |
| | 15-30 cm | 0,16 | 0,08 | 0,07 | 0,20 | 0,14 | 0,08 | 0,04 | 0,18 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 1,30 | 1,04 | 1,29 | 0,61 | 0,68 | 1,03 | 1,78 | 1,37 |
| | 15-30 cm | 1,07 | 1,32 | 0,97 | 0,65 | 0,68 | 0,97 | 0,56 | 0,96 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Noruegos | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Palos Pelados | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pajaritos | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ravelo | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Frailes | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Pinalito | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Siete Lomas | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - | - | - |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálidos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

X.3.3. Actividad biológica del suelo

Tabla X.30. Respiración del suelo en el campo ($\text{mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 24h)

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 26,0 | 22,1 | 17,8 | 30,8 | 33,1 | 36,7 | 27,8 | 50,3 |
| Matorral de Rasca | 37,9 | 30,0 | 29,6 | 34,9 | 34,9 | 43,2 | 32,0 | 40,8 |
| Los Aceviños | 168,1 | 155,1 | 204,4 | 163,0 | 194,9 | 150,9 | 219,4 | 205,2 |
| Los Noruegos | 213,1 | 152,7 | 261,6 | 188,6 | 211,5 | 162,6 | 244,6 | 206,0 |
| Palos Pelados | 222,5 | 84,4 | 194,1 | 132,2 | 213,1 | 101,8 | 189,4 | 191,0 |
| Pajaritos | 146,8 | 66,3 | 176,8 | 81,7 | 116,0 | 59,2 | 152,7 | 101,0 |
| Ravelo | 262,8 | 80,9 | 222,5 | 182,3 | 219,6 | 78,1 | 193,5 | 224,9 |
| Los Frailes | 101,8 | 27,6 | 166,3 | 131,8 | 160,1 | 75,2 | 147,6 | 174,6 |
| Pinalito | 118,4 | 55,2 | 90,0 | 72,8 | 134,9 | 135,7 | 176,0 | 223,3 |
| Siete Lomas | 123,1 | 23,7 | 127,8 | 151,5 | 182,9 | 73,4 | 151,5 | 183,5 |

Tabla X.31. Respiración del suelo en el campo ($\text{mg C-CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 24h)

| Parcela | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 7,10 | 6,03 | 4,84 | 8,39 | 9,04 | 10,0 | 7,59 | 13,7 |
| Matorral de Rasca | 10,3 | 8,18 | 8,07 | 9,52 | 9,52 | 11,8 | 8,72 | 11,1 |
| Los Aceviños | 45,8 | 42,3 | 55,7 | 44,4 | 53,2 | 41,2 | 59,8 | 56,0 |
| Los Noruegos | 58,1 | 41,6 | 71,3 | 51,4 | 57,7 | 44,3 | 66,7 | 56,2 |
| Palos Pelados | 60,7 | 23,0 | 52,9 | 36,0 | 58,1 | 27,8 | 51,7 | 52,1 |
| Pajaritos | 40,0 | 18,1 | 48,2 | 22,3 | 31,6 | 16,1 | 41,6 | 27,5 |
| Ravelo | 71,7 | 22,1 | 60,7 | 49,7 | 59,9 | 21,3 | 52,8 | 61,3 |
| Los Frailes | 27,8 | 7,53 | 45,4 | 35,9 | 43,7 | 20,5 | 40,2 | 47,6 |
| Pinalito | 32,3 | 15,1 | 24,5 | 19,9 | 36,8 | 37,0 | 48,0 | 60,9 |
| Siete Lomas | 33,6 | 6,46 | 34,9 | 41,3 | 49,9 | 20,0 | 41,3 | 50,0 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.32. Carbono mineralizado en forma de CO ₂ (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ d ⁻¹ , 10 días) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 9,24 | 10,7 | 3,69 | 8,29 | 7,83 | 4,15 | 1,71 | 8,49 |
| | 15-30 cm | 8,63 | 10,9 | 6,24 | 5,48 | 6,66 | 3,41 | 2,11 | 15,1 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 15,0 | 12,6 | 5,52 | 12,4 | 0,80 | 8,57 | 3,10 | 19,1 |
| | 15-30 cm | 9,20 | 4,50 | 4,90 | 7,20 | 14,4 | 4,40 | 1,62 | 11,9 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 46,8 | 98,9 | 125,4 | 108,4 | 53,8 | 86,5 | 106,8 | 108,2 |
| | 15-30 cm | 40,4 | 38,3 | 26,2 | 24,0 | 9,37 | 15,1 | 19,4 | 43,7 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 128,8 | 88,6 | 124,2 | 103,4 | 48,0 | 76,9 | 47,6 | 62,1 |
| | 15-30 cm | 34,9 | 57,8 | 45,2 | 50,0 | 10,8 | 21,6 | 27,0 | 37,8 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 63,8 | 91,1 | 75,0 | 88,6 | 66,9 | 145,6 | 73,1 | 63,2 |
| | 15-30 cm | 22,6 | 39,4 | 30,4 | 30,7 | 16,4 | 34,0 | 29,8 | 45,9 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 140,1 | 161,8 | 152,8 | 169,6 | 128,1 | 231,2 | 175,0 | 184,2 |
| | 15-30 cm | 41,8 | 45,6 | 30,9 | 43,6 | 31,1 | 78,0 | 26,9 | 39,2 |
| Ravelo | 0-15 cm | 79,3 | 106,1 | 79,7 | 87,7 | 81,1 | 56,8 | 35,1 | 63,2 |
| | 15-30 cm | 22,9 | 35,2 | 64,4 | 53,4 | 53,9 | 17,8 | 23,4 | 29,6 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 44,6 | 52,7 | 42,4 | 42,2 | 56,3 | 70,1 | 31,1 | 50,0 |
| | 15-30 cm | 20,0 | 21,6 | 23,8 | 13,5 | 13,1 | 23,3 | 6,49 | 19,5 |
| Pinalito | 0-15 cm | 64,5 | 127,7 | 67,5 | 50,3 | 101,2 | 78,1 | 36,5 | 61,3 |
| | 15-30 cm | 20,3 | 24,7 | 15,2 | 25,7 | 21,9 | 15,7 | 3,71 | 24,3 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 44,8 | 66,7 | 38,4 | 60,7 | 47,9 | 72,5 | 27,7 | 45,1 |
| | 15-30 cm | 15,6 | 21,3 | 14,0 | 10,1 | 5,41 | 11,3 | 2,83 | 19,3 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.33. Flujo de C-CO ₂ (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ día ⁻¹ , 10 días / mg C biomasa microbiana kg ⁻¹) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,052 | 0,084 | 0,018 | 0,018 | 0,036 | 0,076 | 0,000 | 0,044 |
| | 15-30 cm | 0,053 | 0,090 | 0,033 | 0,014 | 0,080 | 0,041 | 0,000 | 0,151 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,071 | 0,067 | 0,028 | 0,043 | 0,013 | 0,096 | 0,000 | 0,115 |
| | 15-30 cm | 0,070 | 0,078 | 0,022 | 0,028 | 0,156 | 0,058 | 0,000 | 0,301 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,022 | 0,041 | 0,064 | 0,036 | 0,017 | 0,056 | 0,018 | 0,052 |
| | 15-30 cm | 0,027 | 0,027 | 0,023 | 0,019 | 0,006 | 0,062 | 0,006 | 0,029 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,069 | 0,071 | 0,056 | 0,064 | 0,024 | 0,059 | 0,019 | 0,054 |
| | 15-30 cm | 0,025 | 0,038 | 0,038 | 0,043 | 0,006 | 0,028 | 0,017 | 0,045 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,035 | 0,030 | 0,037 | 0,041 | 0,023 | 0,044 | 0,017 | 0,020 |
| | 15-30 cm | 0,019 | 0,022 | 0,021 | 0,019 | 0,010 | 0,022 | 0,009 | 0,033 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,049 | 0,067 | 0,079 | 0,101 | 0,069 | 0,070 | 0,096 | 0,073 |
| | 15-30 cm | 0,040 | 0,029 | 0,033 | 0,041 | 0,027 | 0,030 | 0,015 | 0,026 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,068 | 0,097 | 0,048 | 0,062 | 0,033 | 0,052 | 0,011 | 0,052 |
| | 15-30 cm | 0,023 | 0,052 | 0,048 | 0,070 | 0,025 | 0,021 | 0,011 | 0,014 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,077 | 0,060 | 0,042 | 0,047 | 0,039 | 0,067 | 0,029 | 0,055 |
| | 15-30 cm | 0,045 | 0,041 | 0,040 | 0,022 | 0,013 | 0,044 | 0,012 | 0,024 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,069 | 0,054 | 0,076 | 0,074 | 0,069 | 0,089 | 0,043 | 0,083 |
| | 15-30 cm | 0,054 | 0,055 | 0,033 | 0,083 | 0,040 | 0,049 | 0,013 | 0,059 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,058 | 0,116 | 0,026 | 0,055 | 0,032 | 0,129 | 0,026 | 0,039 |
| | 15-30 cm | 0,039 | 0,040 | 0,018 | 0,013 | 0,008 | 0,023 | 0,008 | 0,037 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.34. Actividad CM-celulasa ($\mu\text{mol glucosa g}^{-1} \text{h}^{-1}$) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 15-30 cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | 15-30 cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,10 | 0,09 | 0,13 | 0,09 | 0,00 | 0,17 | 0,29 | 0,26 |
| | 15-30 cm | 0,04 | 0,01 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,10 | 0,21 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,19 | 0,36 | 0,49 | 0,39 | 0,33 | 0,40 | 0,26 | 0,37 |
| | 15-30 cm | 0,39 | 0,36 | 0,14 | 0,35 | 0,23 | 0,24 | 0,30 | 0,35 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,67 | 0,67 | 0,56 | 0,56 | 0,43 | 0,55 | 0,47 | 0,57 |
| | 15-30 cm | 0,62 | 0,60 | 0,26 | 0,49 | 0,38 | 0,31 | 0,45 | 0,55 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,63 | 0,63 | 0,40 | 0,77 | 0,84 | 0,29 | 0,69 | 0,56 |
| | 15-30 cm | 0,52 | 0,21 | 0,23 | 0,43 | 0,46 | 0,37 | 0,56 | 0,49 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,06 | 0,70 | 0,24 | 0,22 | 0,17 | 0,31 | 0,37 | 0,39 |
| | 15-30 cm | 0,16 | 0,41 | 0,47 | 0,27 | 0,30 | 0,27 | 0,31 | 0,33 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,08 | 0,33 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,19 | 0,16 | 0,10 |
| | 15-30 cm | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,16 | 0,08 | 0,06 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,26 | 0,65 | 0,54 | 0,32 | 0,50 | 0,19 | 0,27 | 0,19 |
| | 15-30 cm | 0,17 | 0,16 | 0,10 | 0,13 | 0,18 | 0,10 | 0,07 | 0,01 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,44 | 0,31 | 0,45 | 0,54 | 0,35 | 0,11 | 0,37 | 0,41 |
| | 15-30 cm | 0,07 | 0,20 | 0,18 | 0,26 | 0,13 | 0,12 | 0,17 | 0,27 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.35. Actividad β -D-glucosidasa ($\mu\text{mol PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$) | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,25 | 0,28 | 0,17 | 0,31 | 0,10 | 0,04 | 0,21 | 0,28 |
| | 15-30 cm | 0,13 | 0,09 | 0,03 | 0,13 | 0,03 | 0,02 | 0,05 | 0,09 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,26 | 0,13 | 0,10 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,09 |
| | 15-30 cm | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,03 | 0,07 | 0,02 | 0,02 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 4,46 | 5,26 | 5,90 | 5,95 | 4,67 | 4,46 | 4,84 | 3,60 |
| | 15-30 cm | 2,79 | 2,31 | 1,14 | 0,85 | 1,08 | 0,99 | 1,37 | 1,41 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 5,92 | 2,92 | 6,33 | 9,05 | 3,32 | 3,47 | 3,08 | 3,49 |
| | 15-30 cm | 1,90 | 1,58 | 1,11 | 1,38 | 0,86 | 2,05 | 2,27 | 0,98 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 10,4 | 8,15 | 5,12 | 5,12 | 9,62 | 10,1 | 9,52 | 5,63 |
| | 15-30 cm | 1,82 | 0,81 | 2,13 | 2,65 | 3,01 | 4,36 | 2,75 | 2,59 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 14,5 | 5,35 | 6,64 | 9,12 | 8,34 | 7,08 | 7,41 | 6,45 |
| | 15-30 cm | 3,22 | 0,76 | 3,10 | 4,20 | 4,83 | 5,14 | 3,72 | 3,17 |
| Ravelo | 0-15 cm | 2,55 | 5,29 | 6,01 | 4,70 | 2,62 | 4,93 | 2,80 | 2,21 |
| | 15-30 cm | 1,72 | 1,96 | 4,55 | 3,01 | 3,18 | 4,20 | 2,68 | 1,78 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 1,97 | 2,32 | 3,19 | 3,70 | 3,18 | 2,73 | 2,20 | 1,01 |
| | 15-30 cm | 0,65 | 0,94 | 1,13 | 1,00 | 1,23 | 1,23 | 0,78 | 0,71 |
| Pinalito | 0-15 cm | 5,92 | 8,51 | 3,38 | 1,93 | 5,38 | 3,47 | 2,77 | 2,02 |
| | 15-30 cm | 1,30 | 0,97 | 0,69 | 0,67 | 0,79 | 0,86 | 0,56 | 0,52 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 3,32 | 2,97 | 6,73 | 6,17 | 6,72 | 4,22 | 4,11 | 3,52 |
| | 15-30 cm | 1,80 | 1,05 | 1,87 | 0,91 | 1,14 | 1,19 | 0,47 | 1,00 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.36. Actividad deshidrogenasa ($\mu\text{mol INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$) | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Parcela | Profundidad | Año 1 | | | | Año 2 | | | |
| | | P | V | O | I | P | V | O | I |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,19 | 0,15 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,13 | 0,20 |
| | 15-30 cm | 0,12 | 0,08 | 0,02 | 0,00 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,13 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,15 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 0,10 | 0,04 | 0,05 | 0,15 |
| | 15-30 cm | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 0,00 | 0,17 | 0,12 | 0,00 | 0,12 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,51 | 0,53 | 0,72 | 0,73 | 0,52 | 0,79 | 0,59 | 0,68 |
| | 15-30 cm | 0,35 | 0,27 | 0,25 | 0,25 | 0,18 | 0,27 | 0,31 | 0,39 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 1,10 | 0,21 | 0,46 | 0,36 | 0,32 | 0,37 | 0,64 | 0,49 |
| | 15-30 cm | 0,58 | 0,28 | 0,24 | 0,30 | 0,19 | 0,18 | 0,48 | 0,35 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 1,36 | 0,25 | 0,62 | 0,43 | 0,70 | 0,42 | 0,80 | 0,65 |
| | 15-30 cm | 0,68 | 0,25 | 0,27 | 0,27 | 0,26 | 0,12 | 0,52 | 0,54 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 1,96 | 0,26 | 0,64 | 0,55 | 0,56 | 0,91 | 1,03 | 1,01 |
| | 15-30 cm | 0,79 | 0,17 | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,79 | 0,37 | 0,38 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,76 | 0,54 | 0,43 | 0,47 | 0,35 | 0,70 | 0,61 | 0,52 |
| | 15-30 cm | 0,60 | 0,70 | 0,37 | 0,31 | 0,27 | 0,41 | 0,43 | 0,34 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,57 | 0,23 | 0,43 | 0,41 | 0,26 | 0,66 | 0,56 | 0,32 |
| | 15-30 cm | 0,35 | 0,11 | 0,14 | 0,11 | 0,09 | 0,41 | 0,27 | 0,18 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,76 | 0,38 | 0,17 | 0,16 | 0,43 | 0,44 | 0,41 | 0,37 |
| | 15-30 cm | 0,42 | 0,12 | 0,16 | 0,11 | 0,11 | 0,25 | 0,21 | 0,10 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,28 | 0,12 | 0,34 | 0,18 | 0,24 | 0,18 | 0,20 | 0,29 |
| | 15-30 cm | 0,24 | 0,06 | 0,14 | 0,08 | 0,08 | 0,13 | 0,13 | 0,22 |

Leyenda: P= primavera, V= verano, O= otoño, I= invierno. *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

X.3.4. Caracterización física del carbono orgánico del suelo

| Parcela | Tamaño de agregados | | |
|-------------------|---------------------|---------|--------|
| | > 2mm | 0,5-2mm | <0,5mm |
| Tabaibal de Rasca | 52,6 | 9,6 | 37,7 |
| Matorral de Rasca | 53,1 | 19,9 | 27,0 |
| Los Aceviños | 78,7 | 19,0 | 2,28 |
| Los Noruegos | 43,8 | 23,5 | 32,7 |
| Palos Pelados | 70,8 | 16,0 | 13,2 |
| Pajaritos | 64,4 | 18,5 | 17,2 |
| Ravelo | 72,0 | 13,6 | 14,4 |
| Los Frailes | 59,6 | 28,0 | 12,4 |
| Pinalito | 37,7 | 36,4 | 25,9 |
| Siete Lomas | 40,1 | 24,7 | 35,2 |

| Parcela | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 3,03 | 4,50 | 5,58 | 2,54 | 4,80 | 2,89 | 3,83 | 5,36 | 5,96 |
| Matorral de Rasca | 4,20 | 3,30 | 2,69 | 2,62 | 1,41 | 2,05 | 3,54 | 1,91 | 2,60 |
| Los Aceviños | 194,8 | 199,0 | 155,8 | 234,1 | 220,8 | 152,1 | 267,4 | 213,3 | 175,8 |
| Los Noruegos | 184,3 | 286,4 | 159,6 | 170,3 | 340,0 | 133,3 | 154,9 | 280,2 | 174,6 |
| Palos Pelados | 249,4 | 212,8 | 243,6 | 233,1 | 262,2 | 248,3 | 239,3 | 246,5 | 287,3 |
| Pajaritos | 153,7 | 243,3 | 178,4 | 185,9 | 270,5 | 198,0 | 181,2 | 225,9 | 193,6 |
| Ravelo | 202,5 | 187,3 | 236,9 | 146,8 | 165,1 | 184,0 | 159,0 | 182,0 | 171,3 |
| Los Frailes | 85,4 | 63,0 | 34,8 | 59,4 | 62,1 | 26,8 | 82,8 | 75,7 | 36,8 |
| Pinalito | 30,6 | 59,1 | 50,3 | 27,9 | 35,5 | 45,8 | 24,8 | 41,7 | 49,4 |
| Siete Lomas | 204,4 | 151,0 | 65,3 | 217,6 | 133,7 | 90,3 | 216,8 | 158,8 | 72,8 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosfílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0,39 | 0,53 | 0,54 | 0,36 | 0,50 | 0,27 | 0,50 | 0,60 | 0,62 |
| Matorral de Rasca | 0,62 | 0,44 | 0,39 | 0,46 | 0,27 | 0,27 | 0,48 | 0,39 | 0,46 |
| Los Aceviños | 10,8 | 13,5 | 8,00 | 12,5 | 13,5 | 8,93 | 13,0 | 12,4 | 12,0 |
| Los Noruegos | 8,19 | 12,8 | 7,88 | 6,82 | 14,8 | 6,87 | 8,36 | 12,6 | 8,98 |
| Palos Pelados | 15,2 | 12,1 | 13,2 | 14,0 | 13,4 | 13,2 | 13,5 | 11,4 | 13,8 |
| Pajaritos | 7,25 | 12,8 | 9,81 | 9,05 | 14,2 | 9,53 | 8,78 | 12,7 | 9,36 |
| Ravelo | 9,03 | 9,81 | 10,8 | 7,02 | 9,08 | 8,62 | 7,81 | 9,95 | 9,44 |
| Los Frailes | 5,11 | 3,24 | 1,51 | 2,83 | 3,27 | 1,16 | 4,05 | 3,75 | 1,58 |
| Pinalito | 1,50 | 3,26 | 2,93 | 1,26 | 1,99 | 3,03 | 1,53 | 2,13 | 2,53 |
| Siete Lomas | 19,8 | 13,0 | 5,76 | 22,1 | 13,4 | 5,33 | 18,5 | 12,4 | 5,29 |

| | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 7,8 | 8,5 | 10,4 | 9,8 | 10,0 | 16,9 | 7,6 | 8,9 | 9,6 |
| Matorral de Rasca | 6,8 | 7,6 | 6,9 | 7,0 | 9,6 | 10,6 | 7,4 | 4,8 | 5,6 |
| Los Aceviños | 18,1 | 14,8 | 19,5 | 18,8 | 16,4 | 17,0 | 20,6 | 17,2 | 14,6 |
| Los Noruegos | 22,5 | 22,4 | 20,3 | 25,0 | 23,0 | 19,4 | 18,5 | 22,2 | 19,5 |
| Palos Pelados | 16,4 | 17,6 | 18,4 | 16,7 | 19,6 | 18,8 | 17,8 | 21,6 | 20,8 |
| Pajaritos | 21,2 | 19,1 | 18,2 | 20,5 | 19,0 | 20,8 | 20,6 | 17,8 | 20,7 |
| Ravelo | 22,4 | 19,1 | 22,0 | 20,9 | 18,2 | 21,3 | 20,4 | 18,3 | 18,2 |
| Los Frailes | 16,7 | 19,5 | 23,0 | 21,0 | 19,0 | 23,1 | 20,4 | 20,2 | 23,3 |
| Pinalito | 20,9 | 18,1 | 17,2 | 22,2 | 17,8 | 15,1 | 16,2 | 19,6 | 19,5 |
| Siete Lomas | 10,3 | 11,6 | 11,3 | 9,83 | 9,99 | 16,9 | 11,7 | 12,8 | 13,8 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

Tabla X.41. Contenido de carbono extraído con pirofosfato 0,1M (g kg⁻¹) de las distintas fracciones de agregados

| Parcela | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 55,4 | 67,2 | 53,2 | 58,6 | 62,0 | 51,1 | 46,9 | 57,6 | 55,3 |
| Los Noruegos | 58,2 | 67,9 | 63,2 | 60,1 | 64,7 | 57,2 | 70,0 | 63,2 | 69,8 |
| Palos Pelados | 80,5 | 75,5 | 85,7 | 76,0 | 80,4 | 83,8 | 81,2 | 82,8 | 89,8 |
| Pajaritos | 46,8 | 68,2 | 49,4 | 48,5 | 58,0 | 58,6 | 61,8 | 69,3 | 61,1 |
| Ravelo | 69,7 | 72,1 | 86,9 | 61,5 | 65,3 | 71,9 | 68,6 | 70,5 | 80,2 |
| Los Frailes | 33,3 | 30,8 | 17,2 | 23,0 | 28,3 | 16,7 | 33,6 | 35,8 | 20,3 |
| Pinalito | 13,8 | 25,7 | 22,9 | 10,2 | 12,6 | 21,3 | 11,0 | 14,7 | 21,8 |
| Siete Lomas | 73,8 | 63,6 | 24,8 | 76,0 | 68,6 | 33,8 | 81,8 | 64,6 | 30,6 |

Tabla X.42. Contenido de hierro extraído con pirofosfato 0,1M (g kg⁻¹) de las distintas fracciones de agregados

| Parcela | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 5,48 | 8,83 | 7,60 | 4,38 | 5,78 | 8,34 | 3,22 | 6,21 | 7,86 |
| Los Noruegos | 5,90 | 2,58 | 6,90 | 6,26 | 1,66 | 5,91 | 7,44 | 4,26 | 5,72 |
| Palos Pelados | 6,38 | 7,88 | 8,23 | 7,80 | 8,66 | 7,87 | 9,56 | 11,9 | 8,50 |
| Pajaritos | 3,85 | 4,35 | 2,75 | 3,45 | 2,03 | 2,58 | 4,91 | 3,11 | 3,20 |
| Ravelo | 2,90 | 4,33 | 3,93 | 2,63 | 3,16 | 3,91 | 4,83 | 3,54 | 4,50 |
| Los Frailes | 1,05 | 0,90 | 0,30 | 0,84 | 0,90 | 0,05 | 1,10 | 0,99 | 0,37 |
| Pinalito | 0,43 | 1,16 | 1,04 | 0,36 | 0,86 | 0,98 | 0,36 | 0,91 | 0,90 |
| Siete Lomas | 1,24 | 1,39 | 0,62 | 0,89 | 0,95 | 0,67 | 1,40 | 1,36 | 0,78 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálidos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

Tabla X.43. Contenido de aluminio extraído con pirofosfato 0,1M (g kg^{-1}) de las distintas fracciones de agregados

| | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 5,13 | 8,19 | 11,6 | 4,57 | 7,28 | 12,0 | 3,46 | 5,98 | 12,0 |
| Los Noruegos | 10,1 | 3,76 | 8,44 | 12,8 | 5,70 | 7,68 | 17,1 | 6,96 | 7,83 |
| Palos Pelados | 9,50 | 12,4 | 10,7 | 8,82 | 13,5 | 10,2 | 11,6 | 17,0 | 13,1 |
| Pajaritos | 7,60 | 5,89 | 5,79 | 7,26 | 2,32 | 5,58 | 8,98 | 5,40 | 7,25 |
| Ravelo | 15,0 | 19,1 | 16,1 | 15,8 | 14,2 | 14,3 | 21,4 | 16,1 | 21,0 |
| Los Frailes | 2,25 | 3,35 | 1,92 | 1,24 | 2,74 | 1,89 | 1,94 | 3,02 | 2,40 |
| Pinalito | 1,30 | 1,62 | 2,49 | 1,19 | 0,92 | 3,15 | 1,31 | 1,09 | 2,85 |
| Siete Lomas | 4,45 | 8,82 | 6,43 | 4,37 | 7,21 | 6,43 | 7,35 | 10,4 | 7,08 |

Tabla X.44. Grado de complejación del carbono orgánico ($(\text{Fe}_p + \text{Al}_p)/\text{C}_p$) de las distintas fracciones de agregados

| | Tamaño de agregados | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| | > 2mm | | | 0,5-2mm | | | <0,5mm | | |
| | Réplica | | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0,19 | 0,25 | 0,36 | 0,15 | 0,21 | 0,40 | 0,14 | 0,21 | 0,36 |
| Los Noruegos | 0,28 | 0,09 | 0,24 | 0,32 | 0,11 | 0,24 | 0,35 | 0,18 | 0,19 |
| Palos Pelados | 0,20 | 0,27 | 0,22 | 0,22 | 0,28 | 0,22 | 0,26 | 0,35 | 0,24 |
| Pajaritos | 0,24 | 0,15 | 0,17 | 0,22 | 0,08 | 0,14 | 0,22 | 0,12 | 0,17 |
| Ravelo | 0,26 | 0,32 | 0,23 | 0,30 | 0,27 | 0,25 | 0,38 | 0,28 | 0,32 |
| Los Frailes | 0,10 | 0,14 | 0,13 | 0,09 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,11 | 0,14 |
| Pinalito | 0,13 | 0,11 | 0,15 | 0,15 | 0,14 | 0,19 | 0,15 | 0,14 | 0,17 |
| Siete Lomas | 0,08 | 0,16 | 0,28 | 0,07 | 0,12 | 0,21 | 0,11 | 0,18 | 0,26 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.45. Granulometría (g kg^{-1}) y densidad aparente (Mg m^{-3}) del suelo | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------------------------------|--------------|------------|-------------|-----------|---------|--|
| Parcela | Profundidad | Granulometría (g kg^{-1}) | | | | | | Densidad aparente (Mg m^{-3}) |
| | | Elementos gruesos | Arena gruesa | Arena fina | Limo grueso | Limo fino | Arcilla | |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 304 | 355 | 330 | 69 | 172 | 74 | 1,19 |
| | 15-30 cm | 289 | 467 | 294 | 46 | 115 | 79 | 1,24 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 188 | 413 | 199 | 87 | 217 | 84 | 1,26 |
| | 15-30 cm | 125 | 296 | 237 | 94 | 236 | 138 | 1,21 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 230 | 182 | 76 | 156 | 392 | 193 | 0,45 |
| | 15-30 cm | 195 | 112 | 79 | 171 | 429 | 211 | 0,65 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 135 | 211 | 164 | 153 | 383 | 89 | 0,52 |
| | 15-30 cm | 156 | 122 | 149 | 178 | 448 | 104 | 0,55 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 290 | 229 | 231 | 119 | 298 | 123 | 0,56 |
| | 15-30 cm | 320 | 156 | 162 | 150 | 376 | 157 | 0,54 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 412 | 203 | 199 | 142 | 357 | 99 | 0,53 |
| | 15-30 cm | 448 | 179 | 143 | 163 | 409 | 106 | 0,67 |
| Ravelo | 0-15 cm | 126 | 160 | 183 | 160 | 401 | 97 | 0,47 |
| | 15-30 cm | 135 | 143 | 84 | 182 | 458 | 133 | 0,44 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 242 | 288 | 135 | 127 | 320 | 130 | 0,67 |
| | 15-30 cm | 225 | 182 | 113 | 133 | 333 | 239 | 0,76 |
| Pinalito | 0-15 cm | 646 | 185 | 147 | 147 | 370 | 151 | 1,06 |
| | 15-30 cm | 586 | 149 | 109 | 153 | 384 | 205 | 1,12 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 475 | 373 | 266 | 89 | 224 | 49 | 0,79 |
| | 15-30 cm | 512 | 268 | 197 | 128 | 320 | 88 | 0,89 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.46. Contenido de carbono (g kg ⁻¹) en las distintas fracciones granulométricas | | | | | | | |
|--|-------------|---------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 1,03 | 0,96 | 0,83 | 9,87 | 11,6 | 15,6 |
| | 15-30 cm | 0,71 | 0,67 | 0,32 | 7,23 | 7,56 | 8,58 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 1,12 | 0,91 | 0,30 | 6,82 | 4,84 | 3,74 |
| | 15-30 cm | 0,57 | 0,20 | 0,14 | 4,01 | 2,88 | 3,14 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 152,2 | 122,4 | 101,8 | 186,9 | 169,1 | 157,3 |
| | 15-30 cm | 44,8 | 44,4 | 29,7 | 146,9 | 106,7 | 98,1 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 209,6 | 191,8 | 158,6 | 175,2 | 144,4 | 124,1 |
| | 15-30 cm | 93,0 | 63,1 | 53,0 | 123,6 | 102,1 | 94,2 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 185,2 | 176,5 | 175,0 | 188,7 | 148,9 | 181,1 |
| | 15-30 cm | 119,5 | 109,9 | 99,0 | 96,5 | 113,1 | 124,8 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 168,3 | 142,7 | 109,0 | 132,0 | 148,7 | 142,1 |
| | 15-30 cm | 76,2 | 59,8 | 54,2 | 87,2 | 97,6 | 91,8 |
| Ravelo | 0-15 cm | 144,0 | 141,0 | 128,9 | 166,7 | 167,4 | 166,4 |
| | 15-30 cm | 78,2 | 68,6 | 56,9 | 123,3 | 127,1 | 115,0 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 45,9 | 34,1 | 21,1 | 92,9 | 94,1 | 58,6 |
| | 15-30 cm | 16,7 | 15,8 | 9,64 | 28,1 | 27,3 | 34,3 |
| Pinalito | 0-15 cm | 57,2 | 43,5 | 35,8 | 41,3 | 37,7 | 36,0 |
| | 15-30 cm | 24,1 | 16,7 | 13,4 | 19,7 | 16,3 | 12,3 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 137,0 | 123,3 | 101,7 | 125,0 | 112,7 | 95,2 |
| | 15-30 cm | 48,6 | 44,8 | 39,1 | 76,2 | 64,1 | 78,0 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.47. Contenido de nitrógeno (g kg ⁻¹) en las distintas fracciones granulométricas | | | | | | | |
|--|-------------|---------|------|------|------------------|------|------|
| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 0,11 | 0,09 | 0,05 | 0,93 | 1,26 | 1,19 |
| | 15-30 cm | 0,11 | 0,09 | 0,05 | 0,70 | 0,88 | 0,82 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 0,13 | 0,10 | 0,13 | 0,53 | 0,54 | 0,52 |
| | 15-30 cm | 0,02 | 0,02 | 0,09 | 0,68 | 0,66 | 0,68 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 11,5 | 9,74 | 7,83 | 13,1 | 11,7 | 9,72 |
| | 15-30 cm | 3,94 | 3,89 | 1,62 | 9,94 | 8,78 | 6,02 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 13,0 | 12,4 | 6,54 | 9,92 | 8,37 | 6,23 |
| | 15-30 cm | 5,04 | 3,44 | 2,14 | 7,25 | 6,17 | 5,30 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 8,74 | 11,2 | 9,52 | 10,8 | 9,34 | 10,1 |
| | 15-30 cm | 4,81 | 5,49 | 6,00 | 6,41 | 6,91 | 7,41 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 10,2 | 6,35 | 6,01 | 8,77 | 7,22 | 7,42 |
| | 15-30 cm | 3,17 | 1,60 | 1,79 | 4,97 | 5,10 | 4,98 |
| Ravelo | 0-15 cm | 8,05 | 5,29 | 3,98 | 10,3 | 10,5 | 8,24 |
| | 15-30 cm | 4,61 | 3,85 | 3,21 | 8,38 | 8,61 | 8,15 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 1,68 | 1,48 | 0,81 | 4,42 | 4,83 | 3,07 |
| | 15-30 cm | 0,54 | 0,62 | 0,41 | 1,96 | 1,52 | 2,19 |
| Pinalito | 0-15 cm | 3,93 | 1,79 | 1,67 | 2,35 | 2,14 | 2,09 |
| | 15-30 cm | 0,83 | 0,44 | 0,31 | 1,22 | 1,01 | 0,67 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 12,8 | 10,5 | 11,7 | 11,2 | 10,3 | 8,85 |
| | 15-30 cm | 4,03 | 5,11 | 4,01 | 6,94 | 5,61 | 6,93 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálidos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.48. Relación C/N en las distintas fracciones granulométricas | | | | | | | |
|--|-------------|---------|------|------|------------------|------|------|
| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | 9,5 | 10,7 | 18,3 | 10,6 | 9,2 | 13,1 |
| | 15-30 cm | 6,5 | 7,4 | 6,5 | 10,3 | 8,6 | 10,4 |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | 8,5 | 9,2 | 2,3 | 12,8 | 9,0 | 7,2 |
| | 15-30 cm | 24,9 | 8,6 | 1,5 | 5,9 | 4,4 | 4,6 |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 13,3 | 12,6 | 13,0 | 14,3 | 14,5 | 16,2 |
| | 15-30 cm | 11,4 | 11,4 | 18,3 | 14,8 | 12,1 | 16,3 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 16,2 | 15,5 | 24,3 | 17,7 | 17,3 | 19,9 |
| | 15-30 cm | 18,5 | 18,3 | 24,7 | 17,0 | 16,6 | 17,8 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 21,2 | 15,8 | 18,4 | 17,5 | 15,9 | 17,9 |
| | 15-30 cm | 24,9 | 20,0 | 16,5 | 15,1 | 16,4 | 16,8 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 16,4 | 22,5 | 18,1 | 15,1 | 20,6 | 19,1 |
| | 15-30 cm | 24,0 | 37,5 | 30,2 | 17,5 | 19,1 | 18,4 |
| Ravelo | 0-15 cm | 17,9 | 26,7 | 32,4 | 16,2 | 16,0 | 20,2 |
| | 15-30 cm | 17,0 | 17,8 | 17,7 | 14,7 | 14,8 | 14,1 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 27,4 | 23,1 | 25,9 | 21,0 | 19,5 | 19,1 |
| | 15-30 cm | 31,2 | 25,5 | 23,8 | 14,3 | 17,9 | 15,7 |
| Pinalito | 0-15 cm | 14,6 | 24,3 | 21,4 | 17,6 | 17,6 | 17,3 |
| | 15-30 cm | 29,1 | 37,5 | 43,0 | 16,1 | 16,1 | 18,3 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 10,7 | 11,7 | 8,7 | 11,2 | 10,9 | 10,8 |
| | 15-30 cm | 12,1 | 8,8 | 9,7 | 11,0 | 11,4 | 11,2 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálidos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

Tabla X.49. Carbono extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg⁻¹) en las distintas fracciones granulométricas

| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
|-------------------|-------------|---------|------|------|------------------|------|------|
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 38,9 | 31,7 | 25,8 | 80,6 | 71,8 | 67,9 |
| | 15-30 cm | 19,5 | 21,2 | 28,2 | 67,6 | 58,1 | 51,5 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 57,5 | 51,6 | 49,3 | 64,9 | 67,2 | 56,8 |
| | 15-30 cm | 47,7 | 31,6 | 26,0 | 72,3 | 58,6 | 51,1 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 55,9 | 71,1 | 73,9 | 76,7 | 71,9 | 80,4 |
| | 15-30 cm | 51,2 | 53,3 | 46,5 | 60,5 | 66,6 | 68,0 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 32,6 | 31,1 | 35,1 | 55,6 | 63,6 | 69,2 |
| | 15-30 cm | 17,3 | 18,3 | 20,2 | 41,6 | 53,3 | 50,4 |
| Ravelo | 0-15 cm | 52,8 | 36,7 | 35,0 | 73,5 | 80,7 | 71,8 |
| | 15-30 cm | 37,5 | 30,5 | 26,6 | 61,7 | 59,0 | 60,5 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 12,3 | 15,4 | 8,59 | 37,4 | 44,2 | 25,1 |
| | 15-30 cm | 8,35 | 6,32 | 6,08 | 18,6 | 14,0 | 17,4 |
| Pinalito | 0-15 cm | 18,9 | 16,7 | 17,5 | 19,8 | 17,6 | 19,1 |
| | 15-30 cm | 7,00 | 6,80 | 4,86 | 9,90 | 9,56 | 6,65 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 60,5 | 48,6 | 41,7 | 58,7 | 49,2 | 44,3 |
| | 15-30 cm | 23,0 | 22,2 | 23,7 | 38,9 | 38,4 | 43,5 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.50. Hierro extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg ⁻¹) en las distintas fracciones granulométricas | | | | | | | |
|---|-------------|---------|------|------|------------------|------|------|
| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 1,18 | 2,49 | 1,56 | 10,8 | 10,6 | 7,17 |
| | 15-30 cm | 1,72 | 3,13 | 1,69 | 7,12 | 13,1 | 12,7 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 2,31 | 2,33 | 2,74 | 5,94 | 5,63 | 6,71 |
| | 15-30 cm | 2,87 | 2,28 | 1,65 | 6,31 | 9,70 | 9,99 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 4,80 | 5,23 | 6,39 | 12,2 | 21,9 | 14,3 |
| | 15-30 cm | 4,76 | 14,7 | 11,0 | 26,3 | 24,3 | 17,1 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,93 | 0,77 | 1,02 | 7,15 | 7,61 | 7,60 |
| | 15-30 cm | 1,76 | 1,10 | 1,03 | 10,1 | 11,7 | 9,63 |
| Ravelo | 0-15 cm | 2,18 | 1,47 | 1,38 | 6,26 | 9,62 | 6,17 |
| | 15-30 cm | 1,98 | 1,24 | 1,79 | 6,39 | 5,36 | 7,31 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,13 | 0,31 | 0,51 | 4,60 | 4,83 | 4,25 |
| | 15-30 cm | 0,25 | 0,23 | 0,45 | 3,45 | 4,08 | 3,79 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,66 | 0,32 | 0,21 | 3,62 | 3,05 | 2,97 |
| | 15-30 cm | 0,50 | 0,21 | 0,11 | 3,34 | 2,69 | 2,81 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,68 | 0,58 | 1,55 | 4,41 | 3,93 | 5,72 |
| | 15-30 cm | 0,45 | 1,40 | 1,35 | 4,48 | 7,31 | 5,61 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

Tabla X.51. Aluminio extraído con pirofosfato sódico 0,1M (g kg⁻¹) en las distintas fracciones granulométricas

| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
|-------------------|-------------|---------|------|------|------------------|------|------|
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 5,02 | 6,64 | 4,46 | 16,6 | 21,7 | 10,9 |
| | 15-30 cm | 4,84 | 7,42 | 4,45 | 12,2 | 18,8 | 20,1 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 6,70 | 8,34 | 8,26 | 10,3 | 16,1 | 17,2 |
| | 15-30 cm | 9,70 | 8,52 | 11,5 | 14,0 | 18,0 | 21,7 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 12,3 | 9,12 | 12,0 | 21,2 | 18,4 | 17,7 |
| | 15-30 cm | 11,3 | 17,2 | 14,2 | 23,7 | 24,0 | 27,6 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 3,83 | 4,44 | 4,91 | 12,8 | 15,4 | 14,5 |
| | 15-30 cm | 3,65 | 4,57 | 4,68 | 12,2 | 22,1 | 14,8 |
| Ravelo | 0-15 cm | 11,7 | 8,17 | 11,1 | 22,1 | 24,8 | 27,5 |
| | 15-30 cm | 13,1 | 11,2 | 8,17 | 20,4 | 26,7 | 22,6 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 1,30 | 1,08 | 0,96 | 11,1 | 9,44 | 5,66 |
| | 15-30 cm | 0,90 | 1,24 | 1,06 | 7,03 | 10,2 | 6,25 |
| Pinalito | 0-15 cm | 1,32 | 1,19 | 0,68 | 5,57 | 5,87 | 6,79 |
| | 15-30 cm | 0,77 | 0,75 | 0,53 | 5,14 | 5,14 | 3,35 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 7,52 | 5,90 | 5,83 | 16,2 | 15,1 | 18,2 |
| | 15-30 cm | 4,80 | 5,45 | 6,34 | 14,6 | 21,8 | 19,4 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.

| Tabla X.52. Grado de complejación del carbono orgánico ((Fe _p +Al _p)/C _p) en las distintas fracciones granulométricas | | | | | | | |
|--|-------------|---------|------|------|------------------|------|------|
| | | Arenas | | | Limos + Arcillas | | |
| | | Réplica | | | Réplica | | |
| Parcela | Profundidad | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Tabaibal de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Matorral de Rasca | 0-15 cm | - | - | - | - | - | - |
| | 15-30 cm | - | - | - | - | - | - |
| Los Aceviños | 0-15 cm | 0,16 | 0,29 | 0,23 | 0,34 | 0,45 | 0,27 |
| | 15-30 cm | 0,34 | 0,50 | 0,22 | 0,29 | 0,55 | 0,64 |
| Los Noruegos | 0-15 cm | 0,16 | 0,21 | 0,22 | 0,25 | 0,38 | 0,42 |
| | 15-30 cm | 0,26 | 0,34 | 0,50 | 0,28 | 0,47 | 0,62 |
| Palos Pelados | 0-15 cm | 0,31 | 0,20 | 0,25 | 0,44 | 0,56 | 0,40 |
| | 15-30 cm | 0,31 | 0,60 | 0,54 | 0,83 | 0,73 | 0,66 |
| Pajaritos | 0-15 cm | 0,15 | 0,17 | 0,17 | 0,36 | 0,36 | 0,32 |
| | 15-30 cm | 0,31 | 0,31 | 0,28 | 0,53 | 0,63 | 0,48 |
| Ravelo | 0-15 cm | 0,26 | 0,26 | 0,36 | 0,39 | 0,43 | 0,47 |
| | 15-30 cm | 0,40 | 0,41 | 0,37 | 0,43 | 0,54 | 0,49 |
| Los Frailes | 0-15 cm | 0,12 | 0,09 | 0,17 | 0,42 | 0,32 | 0,39 |
| | 15-30 cm | 0,14 | 0,23 | 0,25 | 0,56 | 1,03 | 0,58 |
| Pinalito | 0-15 cm | 0,10 | 0,09 | 0,05 | 0,46 | 0,51 | 0,51 |
| | 15-30 cm | 0,18 | 0,14 | 0,13 | 0,86 | 0,82 | 0,93 |
| Siete Lomas | 0-15 cm | 0,14 | 0,13 | 0,18 | 0,35 | 0,39 | 0,54 |
| | 15-30 cm | 0,23 | 0,31 | 0,32 | 0,49 | 0,76 | 0,57 |

Leyenda: *Tabaibal de Rasca*: Solonchaks hipersálicos (sódicos, clorídicos) / Haplosalids típicos; *Matorral de Rasca*: Solonetz háplicos (arídicos) / Natrargids ácuicos; *Los Aceviños*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (éutricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Noruegos*: Andosoles silándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, limosos) / Fulvudands páchicos; *Palos Pelados*: Andosoles aluándicos eutrosílicos fúlvicos (dístricos, endoarcillosos) / Fulvudands últicos; *Pajaritos*: Luvisoles lépticos (húmicos, esqueléticos) / Haploxeralfs líticos ándicos; *Ravelo*: Andosoles silándicos fúlvicos (hiperdístricos, limosos) / Fulvudands éutricos páchicos; *Los Frailes*: Phaeozems lúvicos (arcillosos) / Argiustolls ándicos; *Pinalito*: Cambisoles lépticos (húmicos, dístricos) / Distroxerepts líticos; *Siete Lomas*: Andosoles silándicos fúlvicos endolépticos (dístricos) / Haploxerands álficos húmicos.