Universidad de La Laguna

Facultad de Ciencias
Sección de Biología

Estudio de algunas propiedades físicas en suelos bajo pinar destinados a tratamientos silvícola

---

Study of some physical properties in soils under pine forest destined for silvicultural treatments

Andrea Socas Expósito

Trabajo Fin de Grado - Grado en Biología

Septiembre 2016

ULL | Universidad de La Laguna

Facultad de Ciencias
Sección de Biología

SOLICITUD DE DEFENSA Y EVALUACIÓN TRABAJO FIN DE GRADO Curso Académico: 2015/2016	ENTRADA Fecha: Núm:

Datos Personales

Nº DNI o pasaporte: 43826329P	Nombre y Apellidos: ANDREA SOCAS EXPÓSITO
Teléfono: 630 23 67 64	Dirección de correo electrónico: andrea.socas.exposito@gmail.com

SOLICITA la defensa y evaluación del Trabajo Fin de Grado

TÍTULO

Estudio de algunas propiedades físicas en suelos bajo pinar destinados a tratamientos silvícola

Autorización para su depósito, defensa y evaluación

D. JESÚS S. NOTARIO DEL PINO	
Profesor/a del Departamento de BIOLOGÍA ANIMAL, EDAFOLOGÍA Y GEOLOGÍA	
y D./Dña. --	
Profesor/a del Departamento de --	
autorizan al solicitante a presentar la Memoria del Trabajo Fin de Grado	
Fdo.: Jesús S. Notario del Pino	Fdo.:

La Laguna, a 29 de JULIO de 2016

Firma del interesado/a

SR/A. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE GRADO DE LA FACULTAD DE BIOLOGÍA

Índice

Introducción ... 1
Hidrofobicidad o repelencia al agua ... 1
Concepto ... 1
Causas y factores asociados a la hidrofobicidad del suelo ... 2
Textura y estructura del suelo ... 4
Erosión hídrica ... 4
Tratamientos silvícolas ... 5
Materiales y métodos ... 6
Áreas de estudio y muestreo ... 6
Pretratamiento de las muestras ... 6
Análisis granulométrico ... 6
Ensayo del tiempo de penetración de la gota de agua o *Water Drop Penetration Time test* (WDPT) ... 7
Ensayo de la molaridad de la gota de etanol o *Molarity of an Ethanol Droplet test* (MED) ... 8
Análisis estadísticos ... 8
Resultados ... 9
Análisis granulométrico ... 9
Pruebas de repelencia al agua ... 13
Análisis de correlación ... 15
Discusión ... 15
Conclusiones ... 18
Conclusions ... 19
Bibliografía ... 20
Artículos ... 20
Páginas web ... 21
Anexo I – Información del área de estudio ... 22

Resumen

La repelencia al agua (o hidrofobicidad) en suelos puede estar causada por distintos factores. En este trabajo se ha determinado la repelencia al agua y la granulometría en muestras de suelos en un área forestal del N de Tenerife destinada a quemas prescritas como medida de tratamiento silvícola por parte del Área de Medio Ambiente del Cabildo Insular de Tenerife. La hidrofobicidad se determinó mediante los ensayos del tiempo de penetración de la gota de agua (*Water Drop Penetration Time,* WDPT) y la molaridad de la gota de etanol (*Molarity of an Ethanol Droplet,* MED), y la granulometría se determinó por medida de densidad. Se ha encontrado una correlación positiva entre la repelencia al agua y el contenido de arena, siendo negativa con el contenido de arcilla. Además, se relaciona la hidrofobicidad con otros posibles factores como la densidad de la vegetación o la orientación de la pendiente.

Palabras clave: densidad, granulometría, orientación, pinar, repelencia.

Abstract

Soil water repellency (or hydrophobicity) may be induced by several factors. In this work, we have determined soil water repellency and particle size distribution from a series of plots under pine forest in northern Tenerife, intended for prescribed burning as a silvicultural management by the Department of Environment of the Tenerife Insular Council. Soil water repellency was determined by the Water Drop Penetration Time (WDPT) and the Molarity of Ethanol Droplet (MED) tests. Soil particle size fractions were determined by densitometry. A significant, positive correlation was found between soil water repellency and the sand content, and negative with the clay content. The relationships of soil hydrophobicity with other factors such as plant cover density or slope aspect have also been explored.

Keywords: aspect, particle distribution, pine forest, plant cover density, soil water repellency.

Introducción

Desde la Revolución Industrial, la población humana ha crecido a ritmo cada vez más acelerado, y ello ha supuesto (entre otras cosas) profundos cambios en el uso del suelo. Así, la industrialización indujo al abandono de muchos entornos rurales, reduciendo dramáticamente la presión ejercida por el pastoreo sobre la vegetación, lo que a su vez generó desequilibrios en los ecosistemas forestales. Éstos eran causados por un notable aumento de la carga de combustible lo que, entre otras cosas, propiciaba grandes incendios forestales capaces de alterar las propiedades del suelo (Pausas y Keeley, 2009).

Entre 1940 y 1950 surgieron estudios científicos interesados en ciertos cambios de las propiedades del suelo, inicialmente debida a intereses económicos, que buscaba solución a la entonces llamada "enfermedad del parche desnudo" en campos de cítricos de Florida (EE.UU.). En décadas posteriores, aumentó la preocupación sobre el fenómeno a nivel mundial. Aparecieron cada vez más estudios sobre la repelencia al agua y su relación con la erosión post-incendio en suelos forestales. Entre 1960 y 1970 continuaron los estudios sobre el sistema suelo-agua y las posibilidades de mitigar los efectos desfavorables de la repelencia al agua, ya fuese inducida por el fuego o de modo natural por la vegetación (DeBano, 2000).

Por otra parte, el clima evoluciona en la actualidad hacia condiciones de mayor temperatura y aridez en buena parte de la superficie del planeta, lo que hace que disminuya la humedad del suelo, se produzcan cambios en la vegetación y aumente la frecuencia de incendios. Aunque no todos los estudios son negativos, existen evidencias que indican que el aumento de temperatura podría reducir la actividad del fuego debido a una disminución de la cantidad de combustible y a una modificación en los procesos de descomposición de la materia orgánica. Este hecho aún no está del todo claro ya que se encuentra en estudio (Pausas y Keeley, 2009).

Hidrofobicidad o repelencia al agua

- ***Concepto***

King (1981) definió la repelencia al agua como la reducción de la afinidad del suelo al agua tal que resiste a la humedad por periodos que pueden ser desde unos segundos a horas, días o semanas. Está causada por películas hidrofóbicas en la superficie de las partículas del suelo, generalmente orgánicas, aunque no siempre. En los ecosistemas terrestres, la hidrofobicidad suele estar asociada a la exposición al fuego o la composición de la vegetación. En el suelo,

los factores más directamente relacionados con la repelencia son la textura, la humedad y la naturaleza de la fracción orgánica.

- ***Causas y factores asociados a la hidrofobicidad del suelo***

La repelencia al agua guarda relación inversa con la humedad del suelo (Howell et al., 2006), ya que se manifiesta sólo cuando el suelo está total o parcialmente seco. Además, la repelencia está asociada a la composición de la vegetación y la incidencia, intensidad y severidad del fuego, en caso de incendio.

  - *Vegetación*

En los bosques Mediterráneos, la vegetación aporta al suelo sustancias hidrofóbicas tales como ceras o resinas, entre otras (Imagen 1) (Verheijen y Cammeraat, 2007). Estas sustancias son emitidas por las partes aéreas de las plantas o también por las raíces. Además los microorganismos del suelo y muy especialmente los hongos, contribuyen a este fenómeno, produciendo sustancias durante la degradación de la materia orgánica o durante el crecimiento del micelio. Así, un suelo con textura gruesa, poco profundo y con aporte de resinas en zonas con clima seco será en la mayoría de los casos repelente al agua sin la concurrencia del fuego (Hubbert et al., 2006).

Imagen 1: Detalle de dos especies presentes en el sotobosque del área de estudio que inducen hidrofobicidad en el suelo, *Erica arborea* y *Cistus monspelliensis*.

  - *Incendios*

Los incendios producen multitud de cambios en el suelo (Tabla 1). Estos irán en función de su incidencia y su severidad. La severidad mide la gravedad de los efectos del fuego, tanto en la masa vegetal y el suelo (severidad del fuego) como para la recuperación del ecosistema

(severidad de la quema) (Lentile et al., 2006). Está condicionada por las propiedades del combustible, las condiciones de propagación del fuego, la topografía, el clima y las propiedades del suelo.

Propiedades físicas, físico-químicas y mineralógicas	Propiedades químicas	Propiedades biológicas
Repelencia al agua	Cantidad de materia orgánica	Biomasa microbiana
Estabilidad estructural	Calidad de la materia orgánica	Composición de la comunidad microbiana
Densidad aparente		
pH	Disponibilidad de nutrientes	Biomasa de invertebrados que viven en el suelo
Granulometría	Capacidad de cambio	
Ensamblaje de minerales	Saturación en bases	Composición de la comunidad de invertebrados que viven en el suelo
Color		
Régimen de temperatura		

Tabla 1: Propiedades del suelo modificadas por el fuego. Fuente: Certini, 2005

Por el contrario, la intensidad del fuego se refiere al flujo de energía térmica radiante por unidad de tiempo (Keeley, 2009), siendo pues un concepto relacionado con la física de la combustión. Requiere medida directa en condiciones de campo, lo cual generalmente no es posible. Por ello, se estima a menudo a partir de sus efectos visibles, lo que se ajusta más al concepto de severidad, de modo que los términos intensidad y severidad se han utilizado indistinto hasta hace unas dos décadas. Diversos autores han puesto de relieve que no hay necesariamente relación directa entre ambas (Hartford y Frandsen, 1992), sobre todo en lo referente al suelo, por la baja conductividad térmica de sus componentes minerales y orgánicos, la cual limita los efectos directos del fuego a los primeros centímetros de profundidad (DeBano et al., 1998).

Los cambios que sufre el suelo son más graves si el fuego es recurrente (Cerdà et al., 1995). El fuego produce volatilización de componentes orgánicos a alta temperatura en superficie, generando vapores que se desplazan hacia abajo en el suelo, en contra del gradiente de temperatura. Dichos vapores, al condensarse sobre las partículas y agregados del suelo, los torna repelente al agua (Howell et al., 2006), derivando así en cambios adicionales en el comportamiento físico del suelo. La zona donde se condensan estos vapores crea una capa hidrofóbica subsuperficial, homogénea tras el incendio, pero que se fragmenta después por la aparición de grietas y el crecimiento de las raíces. La profundidad de esta capa dependerá de la temperatura alcanzada en el suelo durante el incendio, además de la humedad, el tamaño de las partículas y su distribución, aunque rara vez superará los 6-8 cm de profundidad (Certini, 2005). El resultado final será una especie de mosaico de parches de suelo con diferentes grados de hidrofobicidad.

Otro factor a tener en cuenta es la producción de cenizas y el efecto de éstas sobre el suelo. Es un factor de naturaleza compleja, que influye en sentido negativo o positivo según el caso, su propia composición, etc. Así, algunos estudios explican cómo la capa de cenizas mejora la retención de agua (Woods y Balfour, 2010), pero por otro lado, existen evidencias de que las cenizas aumentan la repelencia (Certini, 2005; Stoof et al., 2010; Woods y Balfour, 2010).

Textura y estructura del suelo

La fracción mineral sólida del suelo está formada por partículas individuales (arenas, limos y arcillas), que se asocian en conjuntos (agregados) unidos mediante sustancias húmicas, óxidos, carbonatos y otras sustancias cementantes. El ensamblaje de las partículas sólidas origina una red compleja de espacios porosos más o menos conectados entre sí. Los poros pueden tener diferentes tamaños y formas, de modo que los más pequeños suelen estar ocupados por agua, mientras que los mayores albergan aire. El contenido de agua que comparte la porosidad con la fase gaseosa del suelo depende a su vez del régimen climático en el área donde se asienta el suelo.

Con respecto a la textura, como norma muy general sujeta a frecuentes excepciones, la literatura científica suele constatar repelencia al agua más frecuente e intensa en suelos de textura gruesa (arenosa), y viceversa (MacDonald y Huffman, 2004).

Se ha mencionado el aumento de la densidad aparente como un efecto importante tras un incendio, debido al sellado de los poros por cenizas o partículas minerales procedentes de la destrucción de agregados (Certini, 2005). A nivel de la superficie del suelo, la cementación también puede generar una costra de sellado superficial, la cual dificultaría notablemente la infiltración de agua al suelo.

Erosión hídrica

La repelencia al agua está, por lo tanto, estrechamente vinculada a este fenómeno. En este contexto, entendemos la erosión como la pérdida de suelo debido al arrastre de materia por escorrentía superficial. Su magnitud dependerá de las precipitaciones post-incendio, tanto por su frecuencia como su intensidad. En los ambientes no afectados por incendios la erosión está controlada por la vegetación, por lo que, si el incendio es de baja intensidad, permanecerán restos de plantas que evitarán una pérdida de suelo mayor. La escorrentía es mayor en zonas quemadas, por la desaparición del efecto protector de la cubierta vegetal, aunque sus efectos disminuirán con el tiempo tras el incendio.

Tratamientos silvícolas

Se basan en el cuidado de los bosques y dependerán del tipo de vegetación y del tipo de perturbación. Existen diferentes técnicas, como la corta de árboles de gran tamaño o la adición de una capa de restos vegetales para evitar la erosión, pero en nuestro caso nos centraremos en las quemas prescritas o controladas.

Estados Unidos siempre ha sido uno de los países pioneros en la gestión de incendios. En 1972 se establece el Parque Nacional de Yellowstone. En 1886 pasó a manos del ejército de los Estados Unidos, que al llegar al parque encontró numerosos incendios sin control. A partir de este momento en EE.UU. reinó la política de supresión total de incendios. En ello se invirtieron muchos recursos, pero una de las cosas que consiguieron fue acumular una gran cantidad de combustible que luego provocaría incendios más grandes y descontrolados. Durante los años 60 esta política comenzó a cuestionarse debido a estudios que demostraban que el fuego formaba parte del ciclo vital de algunas especies. En 1968 se produjo un cambio de política, la cual reconocía a los incendios como procesos ecológicos. Fue el comienzo del uso del fuego como herramienta para gestionar ya no solo Parques Nacionales, sino también zonas rurales.

Las quemas prescritas se utilizan para reducir los efectos de incendios forestales y para la restauración del bosque. Suelen ser incendios de baja intensidad y en situaciones muy controladas, encaminados a disminuir la cantidad de combustible, aumentar la disponibilidad de nutrientes, disminución de la acidez, etc.

Esta técnica no siempre goza de buena aceptación social por la posible alarma, emisión humos, y el riesgo siempre presente de producir un incendio incontrolado. Una posible solución a este problema son las quemas en pilas. Una pila se forma con restos de corta o poda de la vegetación de la zona, lo que disminuirá la cantidad de combustible disponible. Como herramienta de control de incendios es muy eficaz. Las áreas quemadas son reducidas, por lo que a nivel de suelo los efectos son limitados. Además, no es necesario tener gestores forestales especializados ni invertir medios cuantiosos. Este tipo de técnica es la que se realizó tiempo después en el área de estudio como método para controlar el sotobosque de codeso.

Materiales y métodos

Áreas de estudio y muestreo

Las muestras se tomaron en la malla de parcelas diseñada por los responsables del Área de Medio Ambiente del Excmo. Cabildo Insular de Tenerife (Anexo I), a lo largo de una loma o montículo, casi paralelo a la carretera TF-24 que une San Cristóbal de La Laguna y El Portillo, muy cerca del cruce con la carretera local TF-523 que conduce a Arafo y Güímar. El área de interés suma aproximadamente 8.5 Ha, y se ha dividido en 24 parcelas de tamaños comprendidos entre 0.15 y 0.51 Ha. En cada una de ellas, se ha tomado muestra de suelo superficial en tres ubicaciones elegidas al azar, a una profundidad entre 0-5 cm, una vez eliminada la capa de hojarasca, hasta descubrir la superficie mineral del suelo. En este trabajo, se incluyen muestras de todas estas parcelas, salvo las numeradas como III-1, III-3 y III-4. La vegetación corresponde a una plantación de pino Canario, con sotobosque dominado por codeso, mientras que la litología corresponde a coladas basálticas sub-recientes (Serie III). La pendiente del terreno es diferente según la orientación, siendo menos abrupta en las parcelas orientadas al sur. Las distintas réplicas se identifican con una letra mayúscula.

Pretratamiento de las muestras

Todas las muestras fueron secadas al aire durante una semana. Tras este tiempo fueron pasadas por un tamiz metálico de 2 mm de luz de malla. Algunas muestras, tales como la III-19C o la III-4C, quedaron reducidas a menos de la mitad de la cantidad original, debido a su abundante pedregosidad superficial. Una vez tamizadas, las muestras se almacenaron en bolsas plásticas de cierre hermético.

Análisis granulométrico

Se realizó empleando el método del densímetro de Boyoucos, previa dispersión química y mecánica de la muestra empleando una disolución dispersante a base de hexametafosfato de sodio y carbonato sódico. Se pesan 40 g de muestra seca al aire y se disponen en una botella plástica a la que se añaden 50 ml de disolución dispersante (35.7 g de hexametafosfato sódico y 2.94 g de carbonato sódico anhidro por litro) y 200 ml de agua destilada. El conjunto se dispone en un agitador rotatorio y se somete a dispersión durante una noche.

La suspensión se dispone en una probeta de vidrio de 1 litro de capacidad, enrasando el volumen final con agua destilada. Acto seguido, se agita con una varilla metálica durante un minuto y se mide la densidad transcurridos 1, 3, 10 minutos, y 7 y 16 horas tras el final de la

agitación, midiendo en cada caso la temperatura con la ayuda de un termómetro de vidrio. Cada tanda de muestras incluye un blanco sin muestra de tierra añadida. A partir de estas medidas, y con la ayuda de una hoja de cálculo previamente diseñada, se construyen rectas de regresión entre el porcentaje de partículas y los logaritmos de los diámetros de las mismas para los distintos tiempos de medida. A partir de dichas rectas se puede determinar el contenido de partículas con diámetros de 50, 20 y 2 µm, que corresponden a los límites superiores de las fracciones limo grueso, limo fino y arcilla respectivamente según el criterio del *U.S. Department of Agriculture*.

La última fase se centra en separar las arenas del resto de la muestra. Para ello hacemos pasar el contenido de la probeta a través de dos tamices de malla de 0.2 y 0.05 mm de luz, respectiva y consecutivamente, lo que permitirá separar las arenas gruesas y finas. Una vez bien lavados para eliminar los restos de partículas más finas, los tamices se desecaron en estufa a 60ºC, determinándose los contenidos de arena por pesada.

La suma total de fracciones (arenas, limos y arcilla) admite un error máximo de ±5%.

Algunas muestras con niveles aparentes excesivamente elevados de carbono orgánico fueron sometidas a digestión previa con peróxido de hidrógeno en caliente (aprox. 60ºC), antes de realizar este análisis.

Ensayo del tiempo de penetración de la gota de agua o *Water Drop Penetration Time test* (WDPT)

Se ha empleado como ensayo cualitativo previo, con el propósito fundamental de distinguir las muestras repelentes al agua de las no repelentes. Para ello, la muestra se dispone en una placa de Petri con 10 mm de profundidad. Se iguala la superficie para evitar irregularidades que puedan sesgar el resultado y, acto seguido, se deposita una gota de agua destilada sobre la muestra usando una jeringuilla desechable (Imagen 2). Se mide el tiempo de infiltración de la gota hasta 10 segundos. Si la gota se infiltra antes del tiempo límite, se considera no repelente al agua, y viceversa. El resultado fue confirmado aplicando un total de 5 medidas por muestra, separando las gotas entre sí a más de 5 mm, para evitar su interacción.

Imagen 2: Prueba WDPT

Ensayo de la molaridad de la gota de etanol o *Molarity of an Ethanol Droplet test* (MED)

Este ensayo usa diferentes disoluciones acuosas de etanol a distinta concentración, y por ende con distinta tensión superficial (menor a medida que la concentración de etanol aumenta). Se preparan dichas disoluciones en un rango comprendido entre 0.2M a 6M, con una diferencia de 0.2M entre dos disoluciones. El procedimiento de medida es análogo al empleado en el ensayo con agua, de modo que si la gota depositada tiene una tensión superficial superior a la de la muestra no penetrará, y viceversa.

Para no probar cada concentración por separado, probamos las concentraciones enteras (1M, 2M, 3M, 4M, 5M y 6M), acotando así la medida inicial entre dos valores, usando después las concentraciones intermedias hasta encontrar la adecuada, es decir, la menor concentración de etanol para la que la gota penetra en la muestra en un tiempo inferior a 3 segundos. La medida se repite 3 veces para confirmar el valor.

Es muy recomendable realizar los ensayos de repelencia al agua (WDPT y MED) en todas las muestras el mismo día, para así evitar variaciones en la temperatura o la humedad ambiental que pudiese sesgar los resultados.

Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico se utilizó el Statistical Package for Social Sciences (SPSS v.24, 2016) para S.O. Microsoft Windows™. El análisis de correlación se realizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman.

Resultados

Análisis granulométrico

Los resultados obtenidos para las muestras, una vez promediados los valores de las tres réplicas, aparecen en las Tablas 2 a 4.

Parcela	Estadístico	%AG	%AF	%LG	%LF	%Arcilla
2	Media	19.95	19.54	12.82	32.21	15.48
	SD	11.87	3.95	2.99	7.52	6.47
	CV	0.59	0.20	0.23	0.23	0.42
5	Media	19.35	14.99	13.26	33.32	19.08
	SD	2.63	3.68	0.61	1.53	3.67
	CV	0.14	0.25	0.05	0.05	0.19
6	Media	16.56	7.00	15.56	39.11	21.77
	SD	9.70	4.24	1.70	4.26	3.09
	CV	0.59	0.61	0.11	0.11	0.14
7	Media	14.67	9.24	15.20	38.20	22.70
	SD	5.47	3.97	0.97	2.45	5.76
	CV	0.37	0.43	0.06	0.06	0.25
8	Media	16.72	8.86	14.82	37.23	22.37
	SD	8.93	3.36	2.37	5.96	6.32
	CV	0.53	0.38	0.16	0.16	0.28
9	Media	25.49	15.71	12.25	30.78	15.77
	SD	5.97	4.08	2.35	5.90	3.68
	CV	0.23	0.26	0.19	0.19	0.23
10	Media	27.07	22.27	11.14	28.00	11.52
	SD	3.95	3.45	0.61	1.52	1.10
	CV	0.15	0.15	0.05	0.05	0.10
11	Media	28.27	20.69	10.92	27.45	12.68
	SD	8.02	3.21	1.83	4.61	1.80
	CV	0.28	0.16	0.17	0.17	0.14

Tabla 2: Estadísticos descriptivos para las distintas parcelas dentro del área de interés (tres réplicas por parcela). SD: Desviación estándar; CV: Coeficiente de Variación de Pearson. AG: Arena gruesa; AF: Arena Fina; LG: Limo Grueso; LF: Limo Fino.

Parcela	Estadístico	%AG	%AF	%LG	%LF	%Arcilla
12	**Media**	28.93	21.42	11.17	28.07	10.41
	SD	4.27	1.12	1.28	3.22	0.58
	CV	0.15	0.05	0.11	0.11	0.06
13	**Media**	21.35	23.83	12.26	30.82	11.74
	SD	9.14	3.97	1.79	4.50	2.88
	CV	0.43	0.17	0.15	0.15	0.25
14	**Media**	16.81	17.23	15.33	38.52	12.11
	SD	3.38	2.93	1.57	3.96	1.90
	CV	0.20	0.17	0.10	0.10	0.16
15	**Media**	17.48	18.33	12.86	32.31	19.02
	SD	6.22	4.53	1.06	2.67	9.56
	Media	16.72	8.86	14.82	37.23	22.37
16	**Media**	16.33	14.68	15.58	39.15	14.27
	SD	5.29	4.83	2.29	5.74	2.36
	CV	0.32	0.33	0.15	0.15	0.17
17	**Media**	16.30	13.96	15.21	38.23	16.30
	SD	4.82	1.54	2.32	5.83	5.16
	CV	0.30	0.11	0.15	0.15	0.32
18	**Media**	16.05	10.68	14.06	35.34	23.86
	SD	0.63	2.73	0.90	2.26	6.02
	CV	0.04	0.26	0.06	0.06	0.25
19	**Media**	26.50	19.52	11.60	29.16	13.21
	SD	6.76	2.73	1.15	2.89	3.61
	CV	0.26	0.14	0.10	0.10	0.27
20	**Media**	24.76	19.12	10.30	25.89	19.93
	SD	13.12	3.87	2.60	6.53	7.13
	CV	0.53	0.20	0.25	0.25	0.36
21	**Media**	23.54	14.37	13.26	33.31	15.52
	SD	20.45	3.38	5.77	14.50	4.08
	CV	0.87	0.24	0.44	0.44	0.26

Tabla 3: Estadísticos descriptivos para las distintas parcelas dentro del área de interés (continuación). Notación como en Tabla 2.

Parcela	Estadístico	%AG	%AF	%LG	%LF	%Arcilla
22	**Media**	22.90	15.66	11.54	29.00	20.89
	SD	9.12	10.39	2.67	6.70	7.65
	CV	0.40	0.66	0.23	0.23	0.37
23	**Media**	25.96	22.35	9.52	23.92	18.26
	SD	10.35	3.98	0.91	2.29	7.35
	CV	0.40	0.18	0.10	0.10	0.40
24	**Media**	27.41	23.32	10.92	27.44	10.90
	SD	14.56	2.58	3.14	7.89	3.60
	CV	0.53	0.11	0.29	0.29	0.33

Tabla 4: Estadísticos descriptivos para las distintas parcelas dentro del área de interés (continuación). Notación como en Tabla 2.

La interpretación gráfica del análisis granulométrico muestra una cierta homogeneidad en las texturas entre las distintas parcelas, siendo todas francas o franco-limosas (Figura 1). Hay mayor proporción de muestras francas (16) que franco-limosas (6) (Figuras 1 e Imagen 3).

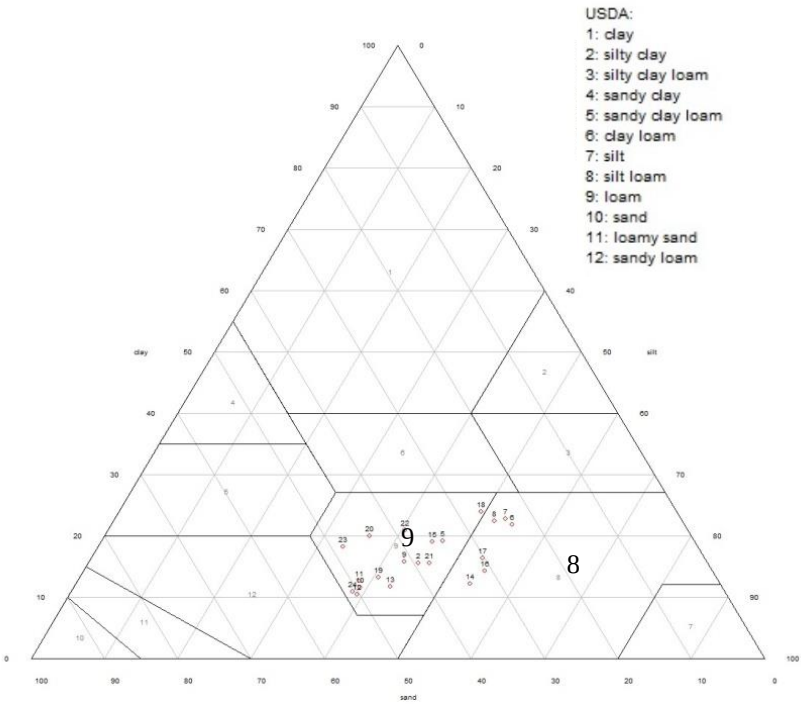


Figura 1: Triángulo textural

Predomina el limo sobre el resto de fracciones, y dentro de esta fracción, están mejor representados los limos finos (promedios respectivos de 12.84% y 32.26% para limos gruesos y finos), existiendo entre ellos una correlación positiva significativa (r = 1.00, p-valor: 0.01). En cuanto a las arenas, se observa que predominan ligeramente las arenas gruesas sobre las

finas, (promedios respectivos de 21.54% y 16.80%). La correlación de ambas es también positiva (r = 0.736. p-valor: 0.01). En conjunto, por lo tanto, las fracciones finas (limo y arcilla) predominan en todas las muestras, si bien los porcentajes relativamente bajos de arcilla determinan texturas generalmente equilibradas.

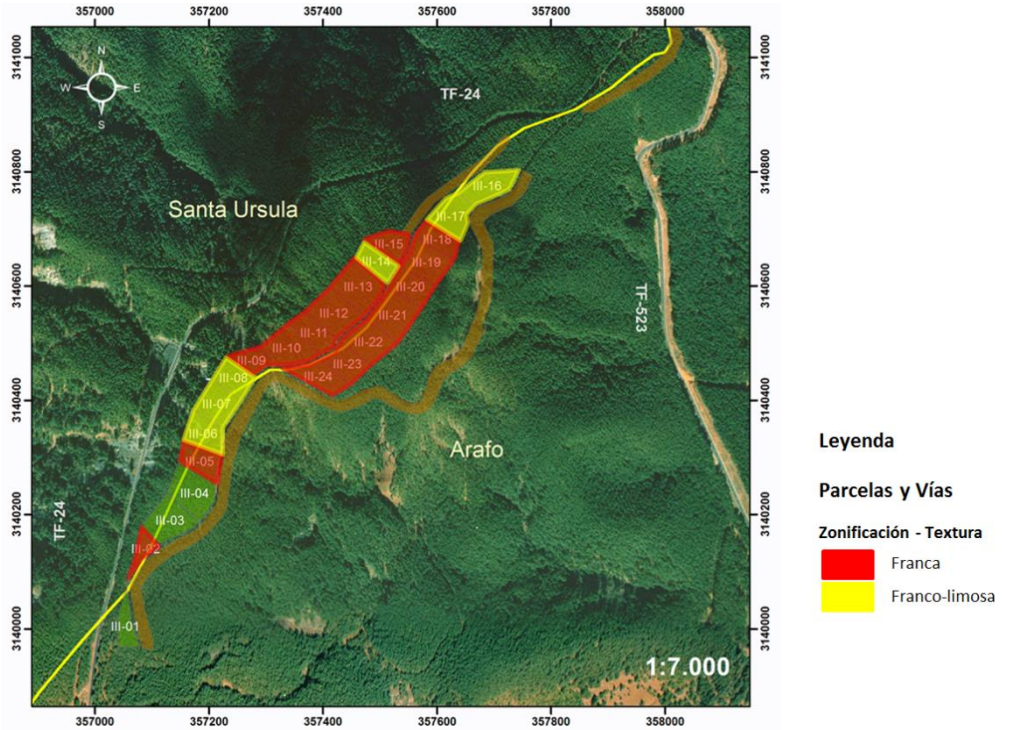


Imagen 3: Mapa de distribución de las parcelas diferenciadas por su textura.

Los coeficientes de variación calculados para las distintas fracciones ponen de manifiesto tanto la homogeneidad de la granulometría dentro de las parcelas (5, 9, 10, 11, 14, 18 y 19), como la situación contraria, siendo especialmente llamativo el caso de la parcela 20, donde dicho coeficiente no es inferior al 20% del promedio en ninguna fracción. Lo normal, sin embargo, es que la variabilidad extrema afecte solo a algunas fracciones, como en la parcela 21, donde el CV de la arena gruesa alcanza el 87% del promedio. Los porcentajes de arena gruesa varían mucho entre las diferentes muestras, con valores entre el 7.52 y el 46.73%.

Estos datos indican que en algunos casos es posible hallar desigualdades en las texturas de las réplicas dentro de una misma parcela. El mapa de localización de parcelas (Imagen 3) permite comprobar que las parcelas con granulometrías más homogéneas se localizan por lo general en la franja superior, orientadas al noroeste y con pendientes a veces importantes (Imagen 4).

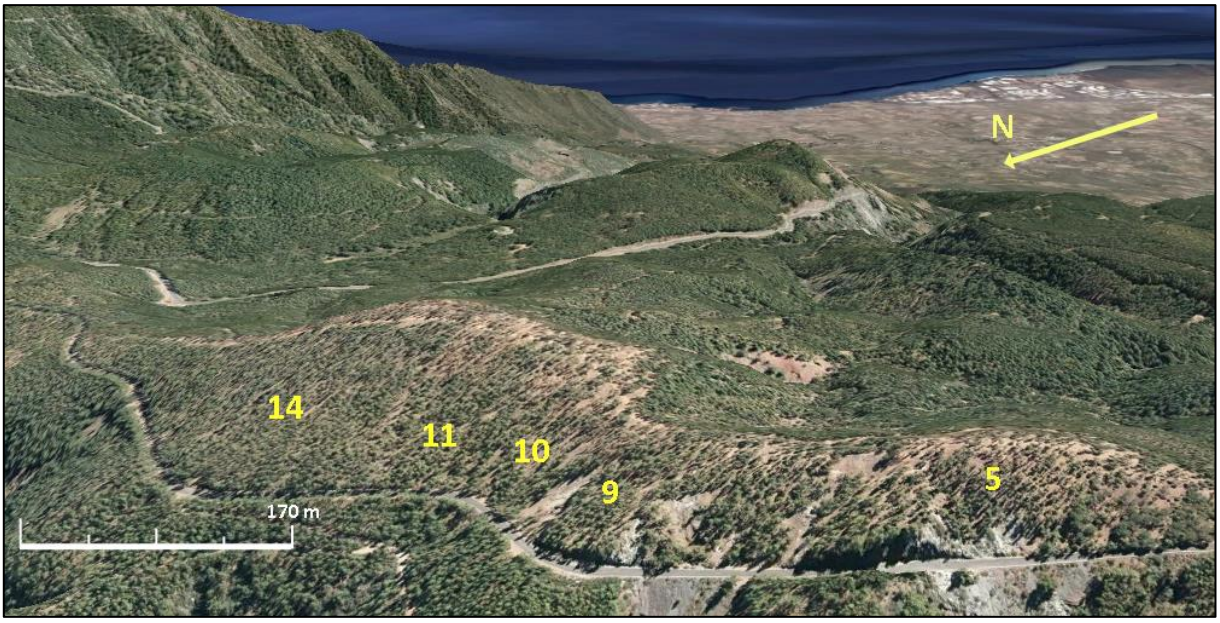


Imagen 4: Situación aproximada de las parcelas con textura aparentemente homogénea orientadas al NO del área de estudio, mostrando la inclinación de la pendiente. Fuente de imagen: Google Earth™.

Pruebas de repelencia al agua

Los resultados se muestran en las Tablas 5, 6 y 7. La Tabla 7 muestra una reclasificación de los valores de las Tablas 5 y 6 para facilitar su interpretación. En general, se observa un elevado porcentaje de parcelas no repelentes al agua (más de la mitad de las analizadas en este trabajo). Los valores más elevados se registraron en dos parcelas contiguas (12 y 13), con concentraciones de etanol cercanas a 3M. Sin embargo, estos casos son anecdóticos en el área de estudio, ya que la mayoría de las parcelas donde se ha hallado repelencia al agua muestran un grado bajo o moderado de la misma, según el criterio de Doerr (1998) (Tabla 7).

Parcela	WDPT	MED (promedio)	%Etanol	SD	CV
2	Repelente	1.20	7	0.2	0.17
5	No repelente	0	0	0	-
6	No repelente	0	0	0	-
7	No repelente	0	0	0	-
8	No repelente	0.07	0.39	0.12	1.73
9	Repelente	0.60	3.50	0.87	1.45
10	Repelente	1.27	7.39	0.64	0.51
11	No repelente	0.13	0.78	0.23	1.73
12	Repelente	2.53	14.77	0.31	0.12

Tabla 5: Estadísticos de repelencia al agua para las parcelas estudiadas. %Etanol: Concentración en porcentaje; SD y CV como en Tabla 1 (CV referido al promedio MED). WDPT: Prueba de tiempo de penetración de la gota de agua (Water Drop Penetration Time) MED: Prueba de la Molaridad de la Gota de Etanol (Molarity of the Ethanol Droplet, en unidades molares).

Parcela	WDPT	MED (promedio)	%Etanol	SD	CV
13	Repelente	2.93	17.11	0.31	0.10
14	Repelente	1.00	5.83	0.87	0.87
15	Repelente	0.80	4.67	0.72	0.90
16	No repelente	0.07	0.39	0.12	1.73
17	Repelente	1.33	7.78	1.67	1.25
18	No repelente	0	0	0	-
19	No repelente	0.07	0.39	0.12	1.73
20	Repelente	0.40	2.33	0.35	0.87
21	Repelente	0.33	1.94	0.31	0.92
22	Repelente	0.40	2.33	0.53	1.32
23	No repelente	0.67	3.89	1.15	1.73
24	Repelente	1.40	8.16	0.35	0.25

Tabla 6: Estadísticos de repelencia al agua para las parcelas estudiadas (continuación). Notación como en Tabla 5.

Clase	% Etanol	Categoría	Número de parcelas
1	**0**	**Muy hidrofílico**	11
2	**3**	**Hidrofílico**	3
3	**5**	**Ligeramente hidrofóbico**	5
4	**8.5**	**Moderadamente hidrofóbico**	0
5	**13**	**Fuertemente hidrofóbico**	2
6	**24**	**Muy fuertemente hidrofóbico**	0
7	**36**	**Extremadamente hidrofóbico**	0

Tabla 7.- Categorías de intensidad de repelencia al agua según Doerr (1998).

No obstante, y como ya sucediera en el caso de la granulometría, a veces es posible hallar medidas muy diferentes dentro de la misma parcela. Así, las parcelas 8, 11, 16, 19 y 23 presentan un CV del 173% de la media, por la presencia de réplicas no repelentes y repelentes. Algo muy similar sucede en la parcela 17 (CV: 1.25), donde las réplicas contrastan fuertemente entre sí (3.2M, 0.8M y 0M, respectivamente).

En general, los valores de los coeficientes de variación calculados en la mayoría de las parcelas (al menos en aquellas donde el cálculo es posible) denotan una elevada variabilidad en las determinaciones de repelencia al agua, lo que hace pensar en grandes diferencias a distancias relativamente cortas. Así, sólo las parcelas 2, 12 y 13 presentan coeficientes de variación inferiores al 30% del valor promedio.

Análisis de correlación

La matriz de coeficientes de correlación se muestra en la Tabla 8.

	%Arena	%Limo	%Arcilla
%Limo	-0.90**	-	-
%Arcilla	-0.73**	0.35	-
MED	0.51*	-0.29	-0.64**

Tabla 8: Análisis de correlación (Valores del coeficiente de correlación lineal r de Pearson). Nivel de significación: **Correlación significativa a nivel 0.01 (bilateral); *Correlación significativa a nivel 0.05 (bilateral).

El análisis de correlación entre las distintas fracciones granulométricas (Tabla 8), indica una correlación negativa entre la fracción de arena, tanto frente al limo como a la arcilla (p-valor $\leq$ 0.01). En cambio, la correlación entre la arcilla y el limo no es estadísticamente significativa. Mucho más interesante resulta la correlación entre las distintas fracciones y los valores del ensayo MED, siendo positiva frente a la arena (p-valor $\leq$ 0.05) y negativa frente a la arcilla (p-valor $\leq$ 0.01). La correlación frente a los valores de limo carece de significación estadística.

Discusión

La relación entre la granulometría (o ciertas fracciones granulométricas) y el fenómeno de repelencia al agua en suelos ha sido puesta de manifiesto por otros autores. Así, MacDonald y Huffmann (2004), Fox et al. (2007), DeBano (2000), Verheijen y Cammeraat (2007) encontraron relaciones positivas entre el contenido de arena en suelos y el grado de repelencia al agua, tal y como sucede en el presente estudio. Dicha relación, sin embargo, no es aceptada de modo universal, pues otros investigadores no han podido confirmarla. Parece, pues, que no es posible considerar la granulometría o la textura como factores aislados a la hora de explicar este fenómeno.

Llama la atención que en un área de estudio relativamente pequeña, el grado de repelencia al agua varíe, a veces abruptamente (Imagen 5). Así por ejemplo, las parcelas 11 y 12 son adyacentes, pero en la primera los ensayos demuestran que el suelo en ella es hidrofílico, y fuertemente hidrofóbico en la segunda. Esta variación también se hace patente dentro de una misma parcela, en tanto que la mayoría presenta valores homogéneos de repelencia en las tres réplicas tomadas, pero a veces no sucede así. La Tabla 9 muestra como ejemplo los datos detallados de las parcelas 17 y 23.

Muestra	Grado de repelencia
17 – A	Fuertemente hidrofóbico (MED: 3.2)
17 – B	Hidrofílico (MED: 0.8)
17 – C	Hidrofílico (MED: 0)
23 – A	Hidrofílico (MED: 0)
23 – B	Fuertemente hidrofóbico (MED: 2)
23 – C	Hidrofílico (MED: 0)

Tabla 9: Datos de las parcelas 17 y 23

De este modo, y tomando como referencia el análisis de correlación realizado, cabría esperar una baja repelencia en todas las muestras de la parcela 17, dado su bajo contenido en arenas, e inversamente en la parcela 23.

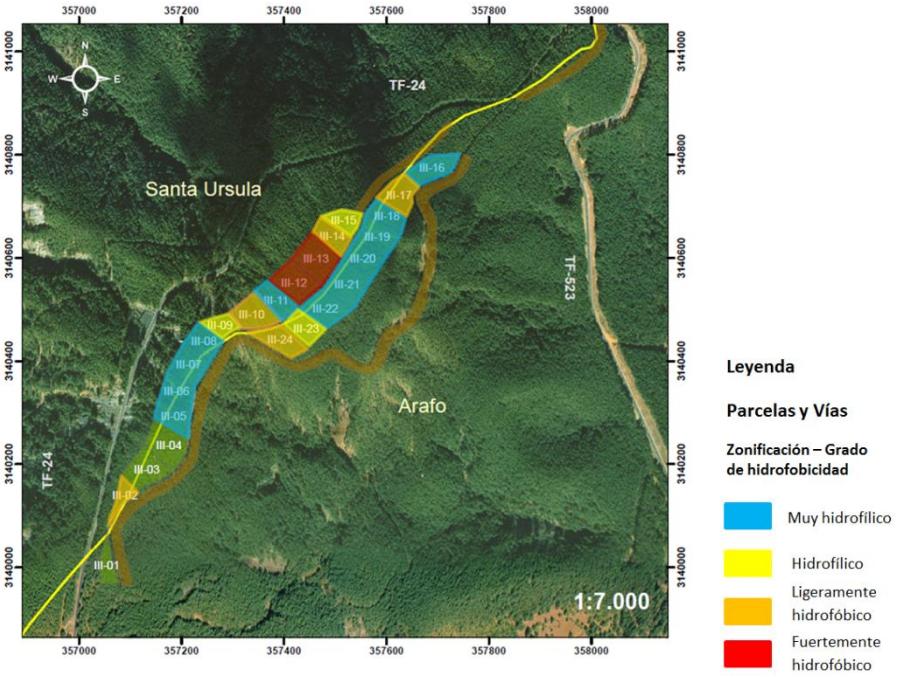


Imagen 5: Mapa del área de estudio con el grado de hidrofobicidad obtenido en cada parcela

Otros factores asociados a la repelencia al agua son la vegetación y la orientación de la pendiente. Es sabido que las acículas de distintas especies de *Pinus* liberan resinas que pasan al suelo y generan hidrofobicidad (como por ejemplo *Pinus patula* en Colombia, Jaramillo et al., 2000), además de otras especies presentes en el sotobosque de los montes de Tenerife (*Erica arborea* o *Cistus monspelliensis*) (Doerr et al., 2000). Este fenómeno también suele guardar relación con la densidad de la vegetación (Verheijen y Cammeraat, 2007; Jaramillo et al., 2000).

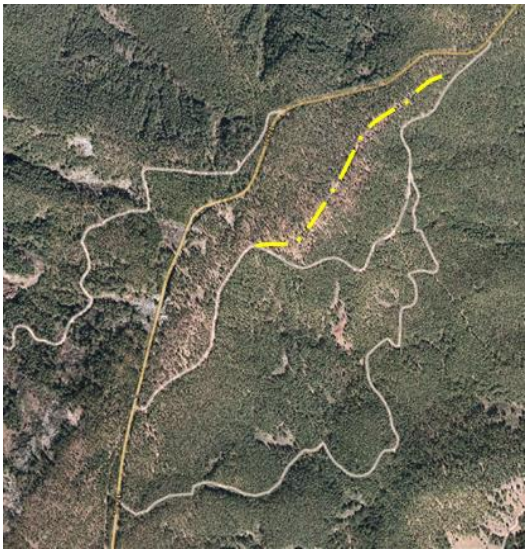


Imagen 6: Imagen OrtoExpress del área de estudio. Fuente: IDE Canarias. La línea amarilla marca el sendero que discurre por la cresta, no señalado como tal en la IDE Canarias.

Al comparar las dos imágenes (Imagen 5 e Imagen 6), se aprecia una menor densidad de la cubierta vegetal, especialmente al este del sendero que discurre sobre la cresta, resaltado en amarillo (Imagen 6). En esta área relativamente más expuesta, sin embargo, la variación de la repelencia al agua es menor, sin que en ella se hayan encontrado parcelas caracterizadas por una alta hidrofobicidad. Esta estimación, aunque meramente visual, proporciona un posible indicio para explicar la variación de repelencia al agua observada en este estudio, en buen acuerdo con lo observado por Verheijen y Cammeraat, (2007) o Jaramillo et al. (2000). No obstante, sería necesaria una cuantificación de la densidad de la cubierta vegetal para sustentar más firmemente esta observación.

Imagen 7: Secuencia temporal de imágenes aéreas en el área de estudio. Izquierda: 1980. Centro: 2006. Derecha: actual. Fuente: IDE Canarias

Además, dicha disminución es perfectamente observable en el tiempo (Imagen 7), desde 1980 hasta hace ocho años, según el catálogo de imágenes disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias. Parece sensato preguntarse, por tanto, si los valores de repelencia extrema hallados en algunos casos tendrán su origen no sólo en la composición, sino también en la densidad de la cubierta vegetal, aparentemente mucho mayor hace unas décadas, e

igualmente si la frecuencia de valores de baja repelencia al agua encontrados en la mitad del área de interés son también fruto de esta evolución de la cubierta vegetal en el tiempo.

En cuanto a la orientación, algunos autores (Boix, 1997; Andreu et. al, 2001) han demostrado que los suelos sobre laderas orientadas al norte suelen tener un mayor contenido en materia orgánica, en razón de la menor tasa de insolación, que a su vez determina una menor actividad respiratoria del suelo. Dicha circunstancia conlleva una mayor estabilidad de los agregados, pero también puede significar mayor repelencia al agua. Si bien parece comprometido realizar suposiciones en este sentido, ante la falta de datos y las reducidas dimensiones del área de interés, las observaciones realizadas sobre la densidad de la cubierta vegetal podrían ir también en esta misma dirección.

Como se indica en el título del trabajo, el área, tiempo después de la toma de las muestras, fue sometida a tratamientos silvícolas, en concreto, quema prescrita. Un efecto a tener en cuenta sería la acumulación de cenizas, que constituyen una fuente de nutrientes fácilmente asimilables por la planta (Pereira et. al., 2011) y que pueden incrementar la retención de agua (Woods y Balfour, 2010; Stoof et. al., 2010). Una acumulación de cenizas de más de 5 cm de espesor puede, no obstante, contribuir a incrementar la repelencia al agua o, en caso de lluvia intensa, favorecer la pérdida de suelo por escorrentía superficial (Woods y Balfour, 2010).

Los datos obtenidos en este trabajo pueden ser empleados como medidas previas al incendio, muy útiles para realizar un seguimiento posterior de las condiciones del suelo. El alcance de las quemas sobre sus propiedades, aunque previsiblemente limitado, podría tener efectos no previstos e indeseados, cuya magnitud estaría condicionada por la intensidad del fuego, la cantidad y naturaleza de las sustancias inductoras de repelencia que puedan liberarse al medio y de las propiedades del suelo, especialmente su contenido y las formas de carbono orgánico, la granulometría y la estabilidad de los agregados del suelo, además, naturalmente, de la propia repelencia al agua.

Conclusiones

- Los análisis granulométrícos indican el predominio de la fracción limo (45.10% de promedio) y arena (38.34%) en las muestras, siendo así que las texturas respectivas se reparten entre franca (16 parcelas) y francolimosa (6 parcelas).

- Aunque predominan las muestras no repelentes al agua, algunas alcanzan valores extremos de repelencia, lo que indica su alta variabilidad.

- La repelencia al agua está correlacionada positiva y significativamente con la fracción arena y negativamente con la fracción arcilla. No obstante, las muestras más arenosas no son siempre las más hidrofóbicas, por lo que cabe pensar que la granulometría no es el único factor responsable.

- La composición de la vegetación en el área de interés puede favorecer la repelencia al agua, asociada a especies como el pino canario (*Pinus canariensis*), el brezo (*Erica arborea*) y la jara (*Cistus monspelliensis*). Asimismo, y aunque no se ha cuantificado, la densidad de la vegetación parece guardar relación con el grado de repelencia al agua. Esta observación se sugiere al comparar distintas imágenes aéreas de la zona tomadas a lo largo de las últimas dos décadas.

- Las parcelas donde aparecen valores más elevados de repelencia al agua se orientan preferentemente hacia el NO, lo cual también guarda relación con la densidad de la vegetación.

Conclusions

- Soil particle analyses show the predominance of the silt (45.10% on average) and sand fraction (38.34%) in samples, so the associated textures are distributed between loam (16 plots) and silt loam (6 plots).
- Although samples are mostly non-repellent, some of them have extreme hydrophobicity values, thus indicating its high variability.
- Water repellency is positively and significantly correlated with the sand fraction, and negatively with the clay fraction. However, sandy samples are not invariably the most hydrophobic ones, thus suggesting that particle size distribution is not the only factor responsible for soil water repellency.
- The composition of the vegetation in the area of interest may prompt soil water repellency, due to the occurrence of species such as Canarian pine (*Pinus canariensis*), tree heath (*Erica arborea*) and rockrose (*Cistus monspelliensis*). Also, and although it has not been measured in this work, plant cover density seems to be related to the

degree of water repellency, as suggested by a comparative examination of the aerial imagery of the study area along the last two decades.

- The plots with the highest values of soil water repellency are mostly located at plots on northwest-facing slopes. It also seems related to plant cover density.

Bibliografía

Artículos:

Andreu, V., Imeson, A.C. y Rubio, J.L. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena*. 44: 69–84.

Boix Fayos, C. 1997. The roles of texture and structure in the water retention capacity of burnt Mediterranean soils with varying rainfall. *Catena*. 31: 219-236.

Cerdà, A., Imeson, A.C. y Calvo A. 1995. Fire and aspect induced differences on the erodibility and hydrology of soils at La Costera, Valencia, southeast Spain. *Catena*. 24: 289-304

Certini, Giacomo. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 143: 1–10

DeBano, L.F., Neary, D.G. y Ffolliott, P.F. 1998. Fire's Effects on Ecosystems. John Wiley and Sons, Nueva York.

DeBano, L.F. 2000. Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*. 231–232: 4–32.

Doerr, S. H. 1998. On standardizing the 'water drop penetration time' and the 'molarity of an ethanol droplet' techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms*. 23: 663–668.

Doerr, S.H., Shakesby, R.A. y Walsh, R.P.D. 2000. Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*. 51: 33–65

Fox, D. M., Darboux, F. y Carrega, P. 2007. Effects of fire-induced water repellency on soil aggregate stability, splash erosion, and saturated hydraulic conductivity for different size fractions. *Hydrological Processes*. 21: 2377–2384.

Hartford, R. A. y Frandsen, W. H.1992. When It's Hot, It's Hot ... or Maybe It's Not! (Surface Flaming May Not Portend Extensive Soil Heating). *International Journal of Wildland Fire*. 2(3): 139-144.

Howell, J., Humphreys, G. S., y Mitchell, P. B. 2006. Changes in soil water repellence and its distribution in relation to surface microtopographic units after a low severity fire in eucalypt woodland, Sydney, Australia. *Australian Journal of Soil Research*. 44: 205–217.

Hubbert, K.R., Preisler, H.K., Wohlgemuth, P.M., Graham, R.C. y Narog, M.G. 2006. Prescribed burning effects on soil physical properties and soil water repellency in a steep chaparral watershed, southern California, USA. *Geoderma*. 130: 284– 298.

Jaramillo, D.F., Dekker, L.W., Ritsema, C.J. y Hendrickx, J.M.H. 2000. Occurrence of soil water repellency in arid and humid climates. *Journal of Hydrology*. 231-2: 105-111.

Keeley, J. E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*. 18: 116–126

King, P. M. 1981. Comparison of Methods for Measuring Severity of Water Repellence of Sandy Soils and Assessment of some Factors that Affect its Measurement. *Australian Journal of Soil Research*. 19: 275-85.

Lentile, L.B., Holden, Z. A., Smith, A. M. S., Falkowski, M. J., Hudak, A. T., Morgan, P., Lewis, S. A., Gessler, P. E. y Benson, N. C. 2006. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. *International Journal ofWildland Fire*. 15: 319–345.

Pausas, J. G. y Keeley, J. E. 2009. A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience*. Vol. 59, 7: 593-601.

Pereira, P., Úbeda, X., Martin, D., Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. 2011. Effects of a low severity prescribed fire on water-soluble elements in ash from a cork oak (Quercus suber) forest located in the northeast of the Iberian Peninsula. *Environmental Research*. 111: 237–247.

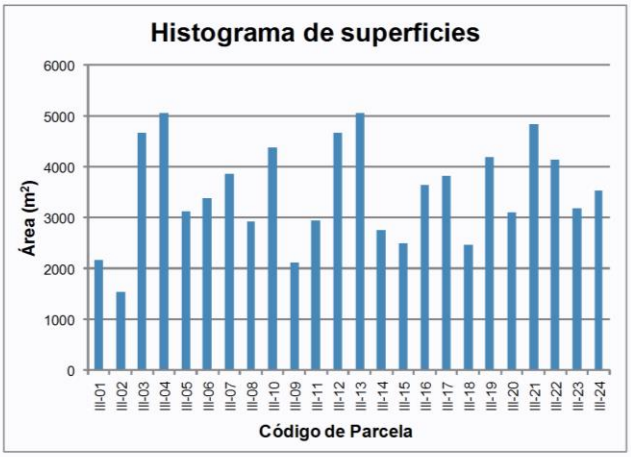
Stoof, C. R., Wesseling, J. G. y Ritsema, C. J. 2010. Effects of fire and ash on soil water retention. *Geoderma*. 15: 9 276–285.

Verheijen, F. G. A. y Cammeraat, L. H. 2007. The association between three dominant shrub species and water repellent soils along a range of soil moisture contents in semi-arid Spain. *Hydrological Processes*. 21: 2310–2316.

Woods, S. W. y Balfour, V. N. 2010. The effects of soil texture and ash thickness on the post-fire hydrological response from ash-covered soils. *Journal of Hydrology*. 393: 274–286.

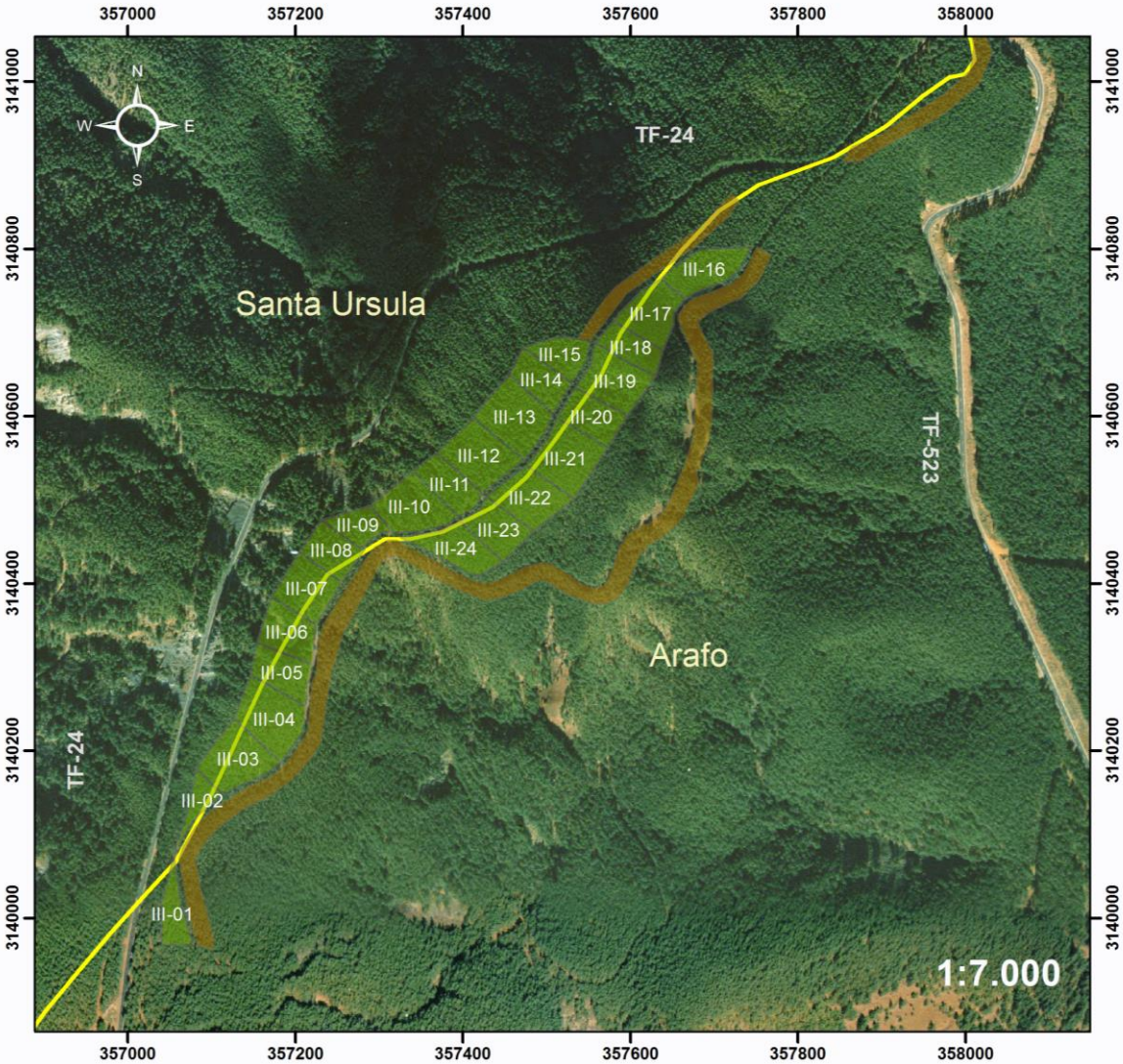
Páginas web:

1. Adaptaciones de la vegetación al fuego en el bosque mediterráneo. Fecha de consulta: 14 de Abril de 2016. Enlace: http://suite101.net/article/adaptaciones-de-la-vegetacion-al-fuego-en-el-bosque-mediterraneo-a18198#.V3_QsTV_QVp
2. Efectos directos en las propiedades del suelo. Fecha de consulta: 17 de Abril de 2016. Enlace: https://efectos-incendios.wikispaces.com/2.+Efectos+directos+en+las+propiedades+del+suelo
3. Estadística de Espacios Naturales Protegidos. Instituto Canario de Estadística (ISTAC). Fecha de consulta: 3 de Mayo de 2016. Enlace: http://www.gobiernodecanarias.org/istac/temas_estadisticos/territorioymedioambiente/medioambiente/biodiversidadyproteccionambiental/C00004A.html
4. Guía de Utilización de Especies vegetales de Tenerife. Exmo. Cabildo de Tenerife. Fecha de consulta: 15 de Abril 2016. Enlace: http://www.tenerife.es/especiesvegetales/
5. Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias (IDE Canarias). Fecha de consulta: entre los meses Abril y Julio de 2016. Enlace: http://visor.grafcan.es/visorweb/
6. Serotiny. Fecha de consulta: 14 de Abril de 2016. Enlace: https://en.wikipedia.org/wiki/Serotiny

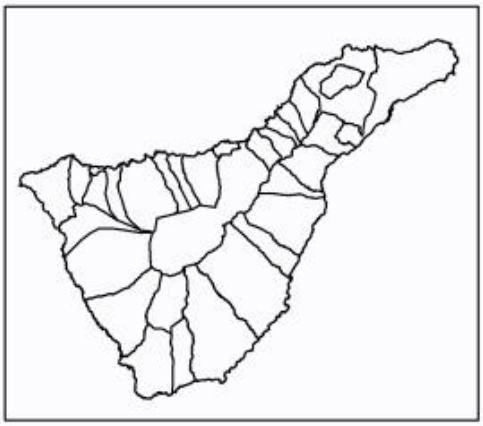


Conjunto de datos. Nombre: QuemadasDorsal.shp. **Fecha y de referencia de edición:** 2016-04-13, 09:45:27. **Responsable de edición:** Jesús S. Notario del Pino. **Extensión geográfica:** Longitud W: 357039, longitud E: 358032, latitud S: 3139961, latitud N: 3141074. **Lenguaje empleado:** Español; Castellano (ESPAÑA). **Conjunto de caracteres:** utf8 - Formato de transferencia UCS de 8 bits. **Tópico o asunto de referencia:** Parcelas de quema experimental en Tenerife. **Resolución o escala:** 1:7000. **Resumen descriptivo:** Situación de parcelas forestales que reciben tratamiento silvícola de quema controlada de combustibles (matorral de codeso) previamente cortado. **Formato de distribución:** Shapefile. **Extensión vertical:** No presenta. **Extensión temporal:** 2013-2016. **Tipo de representación espacial:** Vector. **Sistema de referencia:** No tiene. **Linaje en relación con la calidad:** Se conservan las coordenadas de las fuentes por trabajar con tolerancia 0. **Recurso en línea en relación con la distribución:** No.

Metadatos. Identificador del fichero: QuemasDorsal_xsltransformat2.xml. **Formato de Metadatos:** Esri ArcGIS 1.0. **Estilo:** ISO 19139. **Lenguaje:** Español; Castellano (ESPAÑA). **Conjunto de caracteres:** utf8 - Formato de transferencia UCS de 8 bits. **Responsable:** Área de Medio Ambiente, Cabildo de Tenerife. **Fecha de elaboración:** 2013-10-11, 10:50:30.



Situación de parcelas de quema experimental (Dorsal de Tenerife)



Leyenda

Parcelas y Vías

Zonificación

Faja auxiliar

Parcela