

Cuantificación del almacén de carbono en comunidades arbustivas substeparias de las islas orientales

**Quantification of carbon storage in sub-steppe shrub
communities of the eastern islands**

Trabajo de Fin de Grado

Autor:

Claudia Luis Monroy

Tutores:

Lea de Nascimento Reyes y Elena Rocafull Pérez

Facultad de Ciencias

Grado en Biología

San Cristóbal de La Laguna, 2024

Índice

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción	2
1.1. Ciclo del carbono	2
1.2. Mitigación y compensación de la huella de carbono	3
1.2.1. Estrategia Canaria de Acción Climática.....	4
1.4. Cuantificación de los reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres canarios	4
1.5. Los matorrales como almacén de carbono.....	4
1.5.1. Matorrales substeparios de las islas orientales	6
3. Material y métodos.....	8
3.1. Área de estudio	8
3.2. Caracterización de las comunidades	9
3.3. Muestreo de biomasa	10
3.4. Elaboración de ecuaciones alométricas	11
3.5. Cálculo del contenido de carbono de las especies substeparias	12
4. Resultados	13
4.1. Estimación de la cobertura vegetal de las comunidades arbustivas substeparias en Lanzarote.....	13
4.2. Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa de <i>Bassia tomentosa</i> , <i>Caroxylon vermiculatum</i> y <i>Suaeda vermiculata</i>	15
4.3. Biomasa y contenido en carbono de <i>Bassia tomentosa</i> , <i>Caroxylon vermiculatum</i> y <i>Suaeda vermiculata</i>	16
4.4. Biomasa y carbono acumulado en las comunidades substeparias de Lanzarote y Fuerteventura	17
5. Discusión	19
5.1. Distribución y cobertura vegetal de las comunidades arbustivas substeparias en las islas orientales	19
5.2. Cobertura de las especies dominantes en cada comunidad.....	20
5.3. Ecuaciones alométricas	21
5.4. Análisis elemental.....	23
6. Conclusiones	26
7. Bibliografía.....	28

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a *La Cátedra Fundación Cepsa*, pues sin su financiación esta investigación no se hubiera desarrollado. A los botánicos Alfredo Reyes Betancort y Miguel Padrón Mederos, del Jardín de Aclimatación de La Orotava (ICIA), por brindarnos su extenso conocimiento de la vegetación de las islas orientales. Y a los Cabildos de Lanzarote y Fuerteventura por proporcionarnos los permisos necesarios para el muestreo de campo.

Asimismo, a todos los compañeros del área de Ecología, por hacerme sentir tan cómoda durante mi paso por el departamento. A Natalia Sierra y a Felipe Rodríguez, por ayudarme a contar individuos de *Caroxylon* y alegrarme y acompañarme un poco en los días de laboratorio. Y especialmente a mis tutoras, Lea de Nacimiento y Elena Rocafull, gracias por tenerme tanta paciencia y siempre brindarme apoyo y comprensión durante esta travesía. Lea, te estaré eternamente agradecida por haberme ofrecido esta oportunidad y por permitirme descubrir la isla de los mil volcanes de la mejor manera posible.

También me gustaría agradecer a todas esas personas que me han acompañado en este camino que comencé a transitar hace 5 años. A mi familia, a los de aquí y a los de por allá, por apoyarme a pesar de no entender muy bien qué era lo que hacía. A mi hermana de otra madre, Lucía, por iluminar mi camino con su luz en los momentos en los que yo solo veía oscuridad. Y, sobre todo, a mi madre, por confiar en mí cuando yo lo creía imposible, por todos los sacrificios que hizo para brindarme el futuro que ella no tuvo, y por obsequiarme con la valentía, perseverancia y fuerza que me han permitido llegar hasta aquí y poder escribir estas palabras.

Y, por último, quiero agradecer a esa Claudia que hace 20 años salía de casa con una lonchera de Piolín cargada de una curiosidad infinita por todo aquello que la rodeaba, y a la que prometo seguir alimentando de conocimiento y amor por la vida hasta el último de mis días.

Resumen

Las islas orientales del archipiélago canario se caracterizan por estar dominadas por comunidades de matorral, siendo las de mayor proporción las comunidades nitrófilas frutescentes (58.39 %), seguidas del tabaibal amargo (4.57 %) y por último del tabaibal dulce (1.78 %). El principal objetivo de este estudio es el cálculo del almacenamiento de carbono en dichas comunidades arbustivas. Para ello, se elaboraron ecuaciones alométricas que permiten estimar la biomasa aérea seca de las especies predominantes en los matorrales nitrófilos, *Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* y *Suaeda vermiculata*, utilizando el biovolumen calculado con el diámetro medio y máximo. Con dicho fin, se recolectaron y secaron 20 individuos de cada especie para obtener la proporción de biomasa aérea seca por especie. Además, se analizó el contenido elemental de estas para obtener el carbono almacenado en su biomasa. Se caracterizaron las comunidades de matorrales nitrófilos frutescentes y el tabaibal dulce en Lanzarote, midiendo para ello la cobertura de la parcela, inventariando todos los individuos y tomándoles datos biométricos. Las ecuaciones se aplicaron a los individuos inventariados para estimar la biomasa y el carbono almacenado por las especies. Además, haciendo uso de ecuaciones previas para el resto de las especies, se estimó que las comunidades arbustivas substeparias de las islas orientales acumulan un total de 163 465.24 t de carbono; información que será de utilidad para futuros proyectos de mitigación o compensación de la huella de carbono en Canarias.

Palabras clave: almacenamiento de carbono, biomasa, ecuación alométrica, huella de carbono, matorrales nitrófilos frutescentes, tabaibal dulce.

Abstract

The eastern islands of the Canary archipelago are characterized by being dominated by shrub communities, with the highest proportion of nitrophilous frutescent communities (58.39 %), followed by bitter spurge scrubland (4.57 %) and finally by sweet spurge scrubland (1.78 %). The main objective of this study is the calculation of carbon storage in these shrub communities. For this purpose, allometric equations were developed to estimate the dry aerial biomass of the predominant species in the nitrophilous shrublands, *Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* and *Suaeda vermiculata*, using the biovolume calculated with the mean and maximum diameter. For this purpose, 20 individuals of each species were collected and dried to obtain the proportion of dry aerial

biomass per species. In addition, the elemental content was analysed to obtain the carbon stored in their biomass. The communities of nitrophilous frutescent scrub and sweet spurge scrub in Lanzarote were characterised by measuring the cover of the plot, inventorying all the individuals and taking biometric data. The equations were applied to the inventoried individuals to estimate the biomass and carbon stored by the species. In addition, using previous equations for the rest of the species, it was estimated that the sub-steppe shrub communities of the eastern islands accumulate a total of 163 465.24 t of carbon; information that will be useful for future carbon footprint mitigation or compensation projects in the Canary Islands.

Key words: carbon storage, biomass, allometric equation, carbon footprint, nitrophilous fruiting shrublands, sweet spurge.

1. Introducción

1.1. Ciclo del carbono

El carbono constituye uno de los pilares esenciales para la vida en la Tierra, pues representa aproximadamente el 50 % del peso seco de los seres vivos (Houghton, 2003). Sin embargo, desde el inicio de la Revolución Industrial, su emisión masiva en forma de CO₂ a la atmósfera junto con otros tipos de gases de efecto invernadero (GEI), el CH₄ y el N₂O, se ha convertido en un problema ambiental para la sociedad humana, llegando a registrarse, en el 2022, 417.1 partes por millón (ppm), un 51 % más que respecto a los niveles preindustriales (alrededor de 278 ppm en 1750) (IPCC, 2023). Las emisiones antropogénicas totales fueron de 40.7 Gt CO₂ en 2022, con una estimación preliminar similar de 40.9 Gt CO₂ para el 2023 (Friedlingstein et al., 2023). El aumento de las concentraciones de estos gases favorece un incremento en la capacidad de la atmósfera para retener calor, aumentando la temperatura de la superficie terrestre, calentamiento global, con consecuencias para el medio ambiente y el bienestar humano (MITECO, 2024b; OECC, 2023).

El ciclo global del carbono hace referencia a los intercambios de carbono dentro y entre cuatro grandes reservorios presentes en el planeta: la atmósfera, los océanos, la geosfera y la biosfera. (Friedlingstein et al., 2022; Houghton, 2003). Los ecosistemas terrestres constituyen sumideros y reservorios de carbono, pues son capaces de absorber o eliminar de la atmósfera este GEI, y almacenarlo incorporándolo a su materia orgánica (*Tabla 1*). Sin embargo, procesos de alteración de los ecosistemas por factores naturales

o antrópicos como la explotación forestal, los cambios en el uso del suelo y la agricultura, constituyen la mayor fuente de emisiones de GEI (Houghton, 2003; OECC, 2023).

Reservorio		Descripción
Biomasa viva	Biomasa vegetal aérea	Diferenciada en fotosintética (hojas y tallos verdes), de sostén (troncos, ramas) y reproductora (flores, frutos, semillas)
	Biomasa vegetal subterránea	Raíces gruesas con función de sostén y raíces finas para la absorción de nutrientes
Biomasa muerta	Madera muerta	Madera muerta en pie o depositada en el suelo
	Hojas/Mantillo	Hojas, ramas, flores, frutos, semillas y material irreconocible debido a su avanzado estado de descomposición
Suelos	Materia orgánica del suelo	Raíces y pequeñas raíces muertas junto con otros restos orgánicos y órgano-minerales en diferentes estados de descomposición, habitualmente denominado humus

Tabla 1: Reservorios de carbono de los ecosistemas terrestres (modificado de Aguilera et al., 1994; MITECO y OECC, 2012)

Si la cantidad de CO₂ absorbida por los organismos vegetales y el suelo es mayor que la cantidad de CO₂ emitida por los mismos, la formación vegetal será un sumidero de carbono. Si ocurre lo contrario, y las emisiones se desarrollan en mayor proporción que las absorciones, el ecosistema constituirá una fuente de CO₂ (OECC, 2023). Así, los ecosistemas actúan como fuentes o sumideros de carbono según su grado de perturbación y su etapa de sucesión ecológica (IPCC, 2023).

Los ecosistemas terrestres fijan más carbono atmosférico del que emiten, entre 2.5 y 4.3 mil millones de toneladas por año (IPCC, 2023), y aunque aproximadamente el 59 % del total del CO₂ emitido por la actividad antrópica desarrollada entre 1850 y 2019 haya sido absorbida, la concentración de carbono actual en la atmósfera constituye la mayor que se ha registrado en los últimos dos millones de años (IPCC, 2023; Wu et al., 2024).

1.2. Mitigación y compensación de la huella de carbono

Con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), creó en el 2014, a partir del Real Decreto 163/2014, un registro nacional de la huella de carbono de las organizaciones españolas, conocido como *Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción*. Este registro reconoce la cantidad de emisiones de GEI como consecuencia

del desarrollo de cualquier actividad, y establece que las huellas de carbono de las empresas españolas asociadas deben estar vinculadas a planes de reducción, pudiendo compensar su huella mediante la participación en proyectos forestales en territorio español (MITECO, 2024a; MITECO, 2024b).

1.2.1. Estrategia Canaria de Acción Climática

En el año 2018 se registraron en Canarias cifras de emisiones de GEI de 13 341 kt CO₂.eq, generadas, principalmente, por sectores energéticos, y contribuyendo con un 4 % a las emisiones estatales. Proyecciones a largo plazo evidencian el aumento de las emisiones, pudiendo alcanzar valores de más del doble de los existentes en 1990. Como consecuencia de la declaración de emergencia climática por el Gobierno de Canarias en agosto de 2019, se concibió el plan de acción contra el cambio climático, *Estrategia Canaria de Acción Climática*, aprobado en mayo de 2023. Este plan tiene el objetivo de transformar al archipiélago canario en una sociedad climáticamente neutra y resiliente al clima para el año 2040, reduciendo las emisiones de GEI en un 90 %, y que el 10 % de la emisión remanente sea absorbida por sumideros (Anta et al., 2022; BOC, 2023).

1.4. Cuantificación de los reservorios de carbono en los ecosistemas terrestres canarios

En el contexto actual de cambio climático, surge la necesidad de encontrar formas de mitigar y reducir sus efectos. En Canarias, una de estas estrategias de mitigación es comprender el funcionamiento de los ecosistemas como principales sumideros de carbono, su estado actual y su potencial de captura futura. A finales del año 2020, el grupo de Ecología y Biogeografía Insular de la ULL inició un proyecto financiado por el Gobierno de Canarias, para la cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono. Durante el año 2021 se calculó la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de las principales comunidades forestales, bosques de laurisilva de La Palma, Tenerife (325 t ha⁻¹) y La Gomera (hasta 500 t ha⁻¹), o pinares y plantaciones de pino canario en Tenerife (20-135 t ha⁻¹), El Hierro (50-150 t ha⁻¹) y La Palma (40-120 t ha⁻¹) (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022).

1.5. Los matorrales como almacén de carbono

Los matorrales son formaciones leñosas no arbóreas dominadas por (sub)arbustos que constituyen ecosistemas dinámicos, en los que sus componentes pueden presentar diferencias en su estructura, riqueza y diversidad, persistencia temporal o estrategias de supervivencia, pudiendo constituir así etapas de sustitución o la vegetación madura de un territorio (Fernández-Palacios et al., 1992; Montero et al., 2020). En el archipiélago canario los matorrales constituyen comunidades maduras e inmaduras. Matorrales como los saladares, los tabaibales-cardonales y los retamares de cumbre han desarrollado estrategias de resistencia asociadas a los lugares en los que prosperan, permitiéndoles constituir la vegetación madura de dicho ambiente. Por otro lado, tabaibales amargos, jarales, granadillares y escobonales, constituyen matorrales inmaduros, de sustitución o secundarios, pues se distribuyen en áreas donde la vegetación potencial es otra, pero debido a perturbaciones del medio o a procesos de recuperación de la vegetación original, encuentran un lugar en el que desarrollarse (Fernández-Palacios et al., 1992).

Actualmente, a nivel mundial, los ecosistemas dominados por matorrales constituyen el 13.6 % de la extensión y acumulan el 3.4 % del carbono (Ellis et al., 2021). Según la Agencia Europea de Medio Ambiente, la ratio de secuestro de carbono por los matorrales a nivel europeo es de $0.15 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de carbono, con un almacén de 33.5 t ha^{-1} de carbono (Hendriks & Erhard, 2023).

Con la colonización hispánica del archipiélago, y durante los seis últimos siglos, las formaciones vegetales canarias han sido muy perturbadas, especialmente por el establecimiento de las poblaciones en las zonas de medianías, y la expansión de cultivos intensivos, la caña de azúcar, el plátano y el tomate. Sin embargo, a partir de la década de los setenta, el desarrollo exponencial del sector turístico ha propiciado el abandono de las actividades tradicionales, la agricultura, y el éxodo del agricultor al sector servicio y de la construcción (del Arco, 2010; del Arco & Delgado, 2018). Así, el Gobierno autonómico estima en un 60 % la extensión de tierras agrícolas que han sido abandonadas en las últimas décadas, encontrándose estas colonizadas, principalmente, por comunidades de sustitución, como el inciensial-vinagreral y el tabaibal amargo, debido a su inherente carácter colonizador, pudiendo constituir a su vez la vegetación madura del lugar si se cumplen sus requerimientos ambientales (Arévalo et al, 2016; Cabello et al., 2009). En Lanzarote, casi el 20 % del paisaje está conformado por terrazas de cultivo, de las cuales, a finales de la década de los noventa, y como consecuencia del desarrollo turístico experimentado en la isla, se produjo un abandono generalizado, siendo la

mayoría colonizada por especies arbustivas presentes comúnmente en comunidades de sustitución y nitrófilas (Arévalo et al., 2016; del Arco et al., 2006, 2010).

En Canarias, matorrales secundarios ocupan una extensión aproximada del 45.6 % de la superficie total del archipiélago (338 966 ha) (del Arco et al., 2010). Hasta 2022, solo se poseían datos de la biomasa seca de los matorrales de costa (cardonal-tabaibal) (12.88 t ha^{-1}) y de cumbre (retamar de cumbre) (7.87 t ha^{-1}) (Fernández-Palacios et al., 1992). Motivo por el que, enmarcado en el proyecto “*Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono*”, se comenzó con la caracterización y estimación del carbono almacenado en las principales comunidades de matorral, utilizando Tenerife como isla modelo. Así, actualmente existen estimaciones para tres comunidades de matorrales en la isla de Tenerife, obteniéndose una biomasa de 7.42 t ha^{-1} para el tabaibal dulce, 15.03 t ha^{-1} para el inciensial-vinagreral y 13.17 t ha^{-1} para el tabaibal amargo (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022; Medina, 2023).

Sin embargo, debido a las diferencias de composición de especies, morfológicas y ecológicas, de los matorrales de las islas orientales con respecto a los de la isla modelo, estos resultados no pueden ser extrapolados. Por ello, en este trabajo se pretende cuantificar el almacén de carbono que suponen las comunidades de matorrales substeparios de las islas orientales, mediante su caracterización biométrica y el desarrollo de ecuaciones alométricas de las especies dominantes.

1.5.1. Matorrales substeparios de las islas orientales

Las islas orientales del archipiélago canario constituyen las formaciones geológicas emergidas más antiguas del mismo, es por ello que, debido a la erosión, poseen una baja altitud si las comparamos con el resto de las islas, Lanzarote con 671 m s.n.m. y Fuerteventura con 807 m s.n.m. Su cercanía al desierto del Sahara propicia un clima árido, así como periodos de sequía permanente, con una precipitación anual inferior a 200 mm; además, cabe destacar la influencia de los vientos dominantes del noroeste, vientos frecuentes desde el Sáhara y lluvias torrenciales. Los procesos de desertificación que experimentan las islas debido a su condición árida se han visto potenciados desde la llegada de los castellanos en el siglo XV, al igual que el uso del suelo para el cultivo y el pastoreo intenso y continuado. Este cóctel de características limita la variabilidad bioclimática de la vegetación de las islas, favoreciendo el desarrollo de vegetación potencial climatófila, con una escasa representación arbórea y principalmente arbustiva (del Arco, 2010; Rodríguez et al., 2005).

Lanzarote

La vegetación climatófila dominante de la isla de Lanzarote la constituyen comunidades de tabaibales dulces (caracterizados por *Euphorbia balsamifera*), en áreas inframediterráneas áridas y semiáridas, ocupando también la superficie potencial del cardonal en estas áreas semiáridas; y de acebuchales a altitudes superiores, a los 400-500 m s.n.m., extendiéndose en el infra-termomediterráneo semiárido superior.

Pero, sin duda, la alteración del paisaje insular debido, principalmente, al intenso pastoreo ha propiciado la propagación de ciertas comunidades de sucesión secundaria. Estas son los matorrales nitrófilos-halófilos, como el matorral de algahuera, matabrusca y brusquilla, pudiendo presentar facies con ahulagas. Estos son propios de los territorios inframediterráneos y poseen una baja biodiversidad, siendo las especies dominantes: *Bassia tomentosa* (algahuera), *Caroxylon vermiculatum* (matabrusca), *Launaea arborescens* (ahulaga) y *Suaeda vermiculata* (matomoro brusquillo). Así mismo, en terrenos baldíos que constituyen áreas potenciales para el tabaibal dulce se encuentran tabaibales salvajes dominados por *Euphorbia regis-jubae*; y en áreas elevadas de bosque termoesclerófilo se desarrollan comunidades de matorral de tojio (*Asteriscus intermedius*) (del Arco, 2006, 2010; del Arco & Delgado, 2018; Rodríguez et al., 2005).

Fuerteventura

En el caso de Fuerteventura, la vegetación climatófila se encuentra constituida por cuatro formaciones principales: comunidades de tabaibales dulces, que se desarrollan en el infra-termomediterráneo hiperárido-árido; en el termomediterráneo semiárido prospera el acebuchal de las cumbres, caracterizado por *Olea cerasiformis* (acebuche) y en el inframediterráneo semiárido encontramos la presencia de cardonal de las medianías, caracterizado por *Euphorbia canariensis* (cardón). Es conveniente mencionar la existencia de un cardonal exclusivo de la isla, caracterizado por *Euphorbia handiensis* (cardón de Jandía), el cual se desarrolla en los barrancos situados a sotavento de Jandía.

Las comunidades secundarias dominantes en la actualidad son matorrales de algahuera y brusquilla, estando conformados principalmente por *B. tomentosa*, *C. vermiculatum*, *L. arborescens*, *Frankenia capitata* y *S. vermiculata*; así como los tabaibales amargos, constituidos por *E. regis-jubae*; y, por último, el matorral de jorados, caracterizado por *Asteriscus sericeus* y desarrollándose en las zonas altas, termomediterráneas, en el dominio potencial del acebuchal (del Arco, 2006, 2010; del Arco & Delgado, 2018).

2. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal la cuantificación del carbono almacenado en la biomasa de las comunidades arbustivas substeparias de las islas orientales, Fuerteventura y Lanzarote. Con el fin de llevar a cabo el objetivo principal, se han propuesto a su vez los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización biométrica de las comunidades substeparias de las islas orientales.
- Elaboración de ecuaciones alométricas de las especies vegetales dominantes en las comunidades de estudio para la determinación de biomasa.
- Estimación de la biomasa aérea y subterránea por unidad de superficie en las comunidades.
- Cálculo del carbono almacenado en la vegetación de dichas formaciones arbustivas.

3. Material y métodos

3.1. Área de estudio

Fuerteventura y Lanzarote son las islas más orientales del archipiélago canario, las más cercanas al continente africano. Ambas constituyen uno de los territorios más áridos de la Unión Europea, con la mayor parte de su superficie sufriendo intensos procesos de desertificación debido a su clima, y a procesos de erosión asociados a su edad geológica (del Arco Aguilar & Delgado, 2018; Pérez-Reverón et al., 2022).

Lanzarote

Lanzarote constituye la isla más nororiental del archipiélago, encontrándose a 29°14'05'' y 28°50'12'' latitud norte y 13°53'06'' y 13°24'40'' longitud oeste, con una superficie total de 862 km², siendo por ello la cuarta isla más grande. También cuenta con un pequeño archipiélago denominado Chinijo, a unos 12 km al este de la isla. Su exigua tasa de precipitación anual (111 mm), concentrada entre los meses de octubre y marzo, sus altas temperaturas, con un promedio anual de unos 21°C (AEMET, 2024), y la imposibilidad del desarrollo de formaciones nubosas del alisio (salvo en sus cumbres más elevadas), solo permite el desarrollo del piso inframediterráneo semiárido-árido, con tabaibales dulces como vegetación climatófila asociada, y al infra-termomediterráneo semiárido, con acebuchales desarrollándose en altitudes superiores a 400-500 m s.n.m. Si bien, el pastoreo, junto con la modificación del territorio en pro del sector turístico, ha

propiciado la expansión de comunidades de sustitución de la vegetación potencial, como los matorrales de algahuera, matabrusca, brusquilla y ahulagas (Arévalo et al., 2016; del Arco et al., 2006, 2010).

3.2. Caracterización de las comunidades

Para realizar la caracterización de las comunidades substeparias se seleccionaron un total de 15 parcelas, la mayoría incluidas en la Red de Espacios Naturales Protegidos de las islas y obteniendo para ello previa autorización del Cabildo de cada isla. No obstante, debido a problemas administrativos, limitaciones de tiempo e incompatibilidad de disponibilidad, no fue posible realizar el muestreo planeado para la isla de Fuerteventura, que consistiría en la realización de 10 parcelas, una para la caracterización del tabaibal dulce y las nueve restantes para el estudio del resto de comunidades. Debido a esto, se procederá a la extrapolación de los datos obtenidos a partir de la caracterización de las comunidades de Lanzarote para estimar la biomasa y carbono en las comunidades de Fuerteventura.

En Lanzarote, las comunidades de tabaibal dulce se extienden por 2 889.09 ha de la isla, mientras que las comunidades de sustitución nitrófilas frutescentes ocupan 24 393.4 ha de la misma. Las parcelas se ubicaron en zonas donde las comunidades de estudio estaban bien representadas, en distintas localidades de la isla, abarcando diversas condiciones ambientales y sustratos. Se tomó de referencia la distribución de las comunidades según la última actualización del mapa de vegetación de Canarias en GRAFCAN ([IDECanarias visor 5.0](#)) y se consultó sobre el estado real de las comunidades y posibles localizaciones representativas a los botánicos Alfredo Reyes Betancort y Miguel Padrón Mederos (Jardín de Aclimatación de La Orotava, ICIA), expertos en la vegetación de las islas orientales. En dicha localización se consideró a su vez el rango altitudinal y la macro-orientación. Así, se seleccionaron cinco parcelas. Una de ellas fue un tabaibal dulce en el Malpaís de La Corona. Las cuatro restantes correspondieron a las comunidades de matorral nitrófilo-halófilo más representativas de la isla de Lanzarote: una al sur, cerca de Los Llanos de Rubicón, otra al noreste, con facies de *B. tomentosa*, otra en la costa de Tinajo y una última en las laderas de bajas de Famara; y al suroeste, en la costa de Costa de Teguisse, una variante con *L. arborescens* (*Figura 1*).

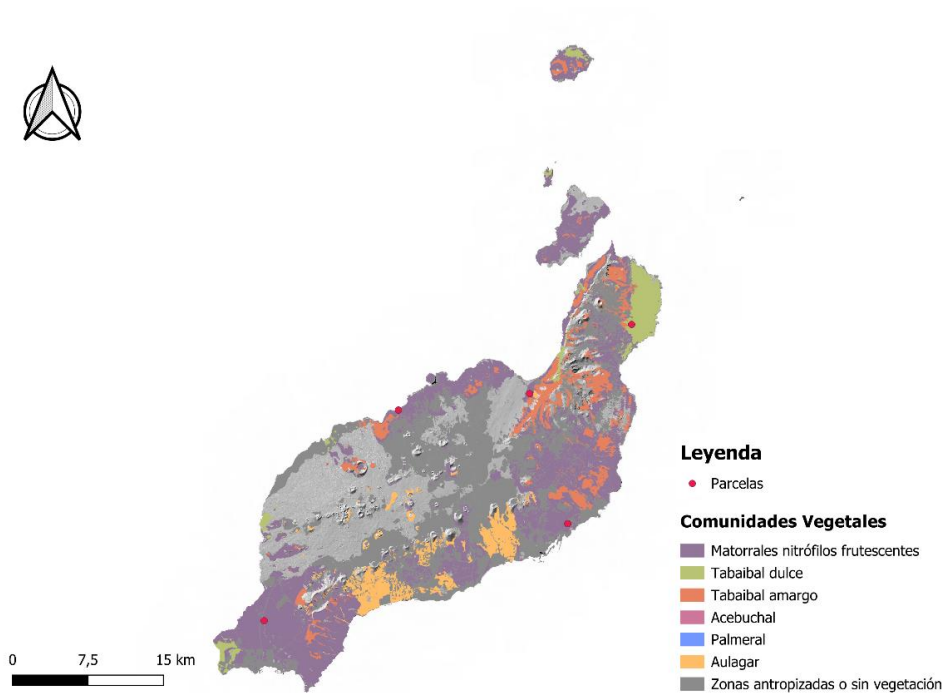


Figura 1. Localización de las parcelas establecidas en Lanzarote y la distribución de las comunidades arbustivas y arbóreas presentes en la isla.

El tamaño de las parcelas establecido fue de 20 x 20 metros, en las que se inventariaron todos los individuos presentes. A su vez, de cada individuo se tomaron los siguientes datos biométricos: altura, diámetro máximo y el perpendicular a este, diámetro basal en individuos con troncos bien diferenciados; fenología (floración o fructificación si procediera); y su estado de vitalidad, haciendo uso de una escala numérica del 1 al 5, siendo 1 un individuo en muy mal estado y 5 un individuo sano (*Figura 2A*). También se anotó si el individuo se encontraba creciendo bajo la copa de otro o no, para no sobreestimar la cobertura total de la comunidad. Del mismo modo, fueron registrados datos abióticos tales como la localización geográfica por coordenadas, altitud, orientación, macro-orientación (barlovento/sotavento), pendiente, localidad, fecha de muestreo y, por último, observaciones sobre el estado general de la parcela.

3.3. Muestreo de biomasa

Debido a la existencia de ecuaciones alométricas para algunas especies de las comunidades estudiadas, como es el caso de *Euphorbia balsamifera*, en este trabajo solo se procedió a la elaboración de las ecuaciones alométricas de las tres especies dominantes del resto de las comunidades substeparias, *Basssia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* y *Suaeda vermiculata*. Para ello, se procedió al corte de 20 individuos de tamaños diversos en las diferentes parcelas de estudio, consiguiendo con ello abarcar la mayor

variabilidad morfológica, de etapas de crecimiento y de distribución ambiental posible de las especies (*Figura 2B*).

De todos los individuos cortados se registró su peso en fresco. Pero, debido a la imposibilidad de transportar hasta Tenerife la totalidad de la biomasa cortada, se seleccionó una muestra representativa de entre 1 y 3 kg de peso de cada espécimen. Posteriormente, en el laboratorio se procedió a su secado en estufas a 70 ° C hasta peso seco constante (*Figura 2D*). Con los datos obtenidos de peso fresco y peso seco se calculó el porcentaje de contenido hídrico de cada ejemplar. Finalmente, las ecuaciones alométricas resultantes de este trabajo y las tomadas de trabajos recientes del grupo de investigación (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024), se aplicaron a todos los individuos de las parcelas, para calcular la biomasa de cada una de las especies por unidad de superficie en las comunidades dominantes de las islas orientales.

Con los datos de caracterización y ecuaciones alométricas desarrolladas para las comunidades de aulagar-saladar, tabaibal amargo, vinagrerales, acebuchales y palmerales en otras islas (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024), se estimó la biomasa y el carbono acumulados en dichas comunidades en Lanzarote y Fuerteventura. También se obtuvieron datos de biomasa y carbono subterráneo en las comunidades de Lanzarote. Para ello, se hizo uso de las estimaciones obtenidas para biomasa aérea por este estudio y las ratios Bms/Bma existentes para algunas de las especies inventariadas, o uno general para las que no se conocían datos específicos (Vega, 2023).

3.4. Elaboración de ecuaciones alométricas

Para la elaboración de las ecuaciones alométricas que permiten el cálculo de la acumulación de carbono de *B. tomentosa*, *C. vermiculatum* y *S. vermiculata*, se tomó como variable dependiente el peso seco (PS.total) de cada individuo cortado y pesado, y se estudió la influencia y relación con dicho peso de las siguientes variables: altura (Alt), diámetro máximo (D1), diámetro perpendicular al máximo (D2), diámetro medio (DM), biovolumen calculado con el D1 (Biovol.D1) y calculado con el DM (Biovol.DM).

Se hizo uso del lenguaje computacional *R* (R Core Team 2024 version 4.3.3) y la herramienta *Excel* para el registro y tratamiento de los datos. Las posibles correlaciones entre las variables se comprobaron utilizando el paquete “psych” y su función “pairs”, con lo que se obtuvo una visión general de la relación entre todas las variables respuesta y la variable dependiente (PS.total). Para comprobar la multicolinealidad entre variables independientes se usó la prueba de correlación de Pearson con la función “as.matrix” del

paquete “Hmisc”. La relación entre las variables independientes y la variable respuesta se comparó utilizando los siguientes tipos de modelos:

- Polinómico de segundo grado
- Regresión lineal simple
- Log - log
- Regresión lineal múltiple

Para la elaboración de las funciones polinómicas se hizo uso de la función “poly” del paquete “ISLR”, mientras que para los modelos de regresión lineal simple, múltiple y log-log se recurrió a la función básica “lm” del paquete “stats”. Para seleccionar las mejores ecuaciones, en primer lugar, se comprobó que cada modelo propuesto cumpliera los requisitos de normalidad y homocedasticidad de los residuos. Estos requerimientos se analizaron de forma visual, mediante los gráficos de los residuos de cada modelo, a partir de la función “plot” de R (residuals vs fitted, normal q-q, scale-location y residuals vs leverage). Asimismo, se verificó que los modelos tuvieran un p-valor significativo y un R^2 elevado. Para la comparación de modelos se usó la función “compareLM” del paquete “rcompanion”, que aplica el criterio de información de Akaike (AIC).

3.5. Cálculo del contenido de carbono de las especies substeparias

Para calcular el contenido de carbono en la biomasa de los individuos muestreados se hizo uso del Servicio General de Apoyo a la Investigación (SEGAI) de la ULL. Así, se procedió a moler una muestra de tres individuos de cada especie, asegurándose de que los individuos seleccionados fueron cortados en parcelas diferentes, para procurar representar la variabilidad climática y de sustrato donde puede crecer cada especie. Se molió una representación de todas las partes leñosas de los especímenes con el molino de análisis modelo A 11 basic de la casa comercial IKA (*Figura 2G y H*). En el SEGAI se analizó cada muestra mediante un análisis elemental, que proporcionó el contenido total de carbono, nitrógeno e hidrógeno (C, N, H).

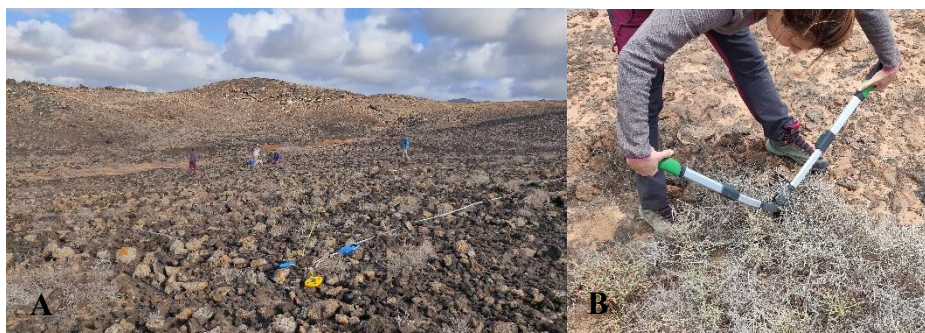




Figura 2. *A.* Caracterización de la parcela de Laja del Sol. *B.* Corte de un individuo de *Caroxylon vermiculatum*. *C.* Muestras de los individuos recolectados siendo secadas en la estufa. *D.* Procedimiento de pesado de la muestra de *C. vermiculatum* número 16. *E.* Selección de fragmentos leñosos de distintas partes del individuo a moler. *F.* Fragmentación de la muestra para facilitar su procesamiento. *G.* Equipo y materiales utilizados para realizar el molido. *H.* Muestras listas para ser enviadas al SEGAI.

4. Resultados

4.1. Estimación de la cobertura vegetal de las comunidades arbustivas substeparias en Lanzarote

El promedio de cobertura vegetal arbustiva en las comunidades de matorrales substeparios de Lanzarote es del 23.29 ± 16.63 %. En las comunidades nitrófilas frutescentes este promedio es del 17.12 ± 10.71 % (*Figura 3*). En la comunidad de tabaibal dulce este valor asciende al 47.98 %. El promedio de superficie sin vegetación arbustiva en todas las comunidades es del 76.71 ± 16.63 %, en las nitrófilas frutescentes del 82.89 ± 10.71 % y en el tabaibal dulce del 52.02 % (*Figura 3*). Las tres especies con mayor cobertura en las comunidades nitrófilas frutescentes son *C. vermiculatum* (20.71

$\pm 17.92 \%$), *B. tomentosa* ($1.69 \pm 1.63 \%$) y *S. vermiculata* ($1.30 \pm 2.60 \%$). Si tenemos en cuenta la cobertura vegetal total de la comunidad, las contribuciones de las especies dominantes son del 82.84 % para *C. vermiculatum*, del 6.76% para *B. tomentosa*, del 5.19 % para *S. vermiculata* y del 3.10 % para *Launaea arborescens* (Figura 4A). En el caso del tabaibal dulce, las especies con mayor cobertura son *E. balsamifera* (41.81 %), *L. arborescens* (5.42 %) y *Euphorbia regis-jubae* (2.80 %), siendo la contribución al total de la cobertura vegetal de 79.12 % para *Euphorbia balsamifera*, 10.25 % para *L. arborescens*, 5.31 % para *E. regis-jubae*, y 2.81 % para *Kleinia neriifolia* (Figura 4B).

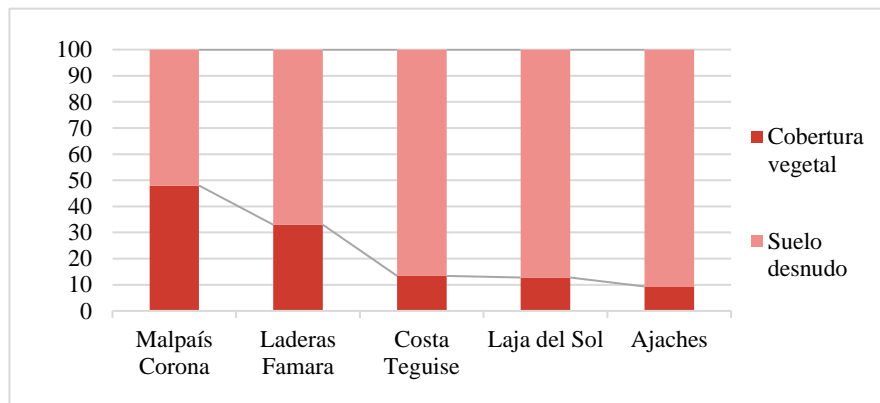


Figura 3. Cobertura vegetal y suelo desnudo de las comunidades nitrófilas frutescentes y el tabaibal dulce de Lanzarote por parcela.

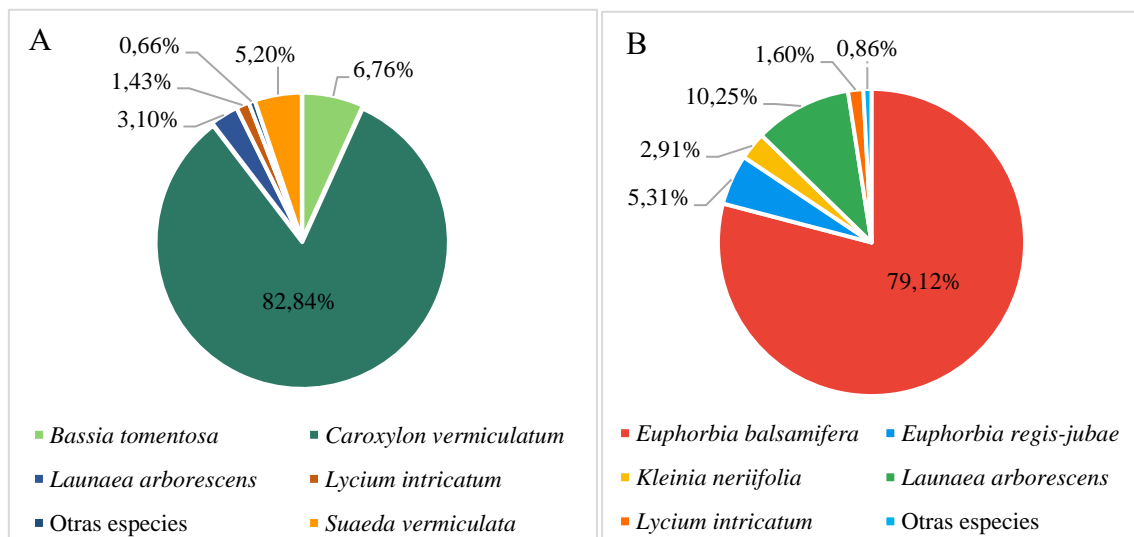


Figura 4. A. Contribución a la cobertura vegetal de las especies presentes en las comunidades nitrófilas frutescentes de Lanzarote. **B.** Contribución a la cobertura vegetal de las especies presentes en la comunidad de tabaibal dulce de Lanzarote.

4.2. Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa de *Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* y *Suaeda vermiculata*

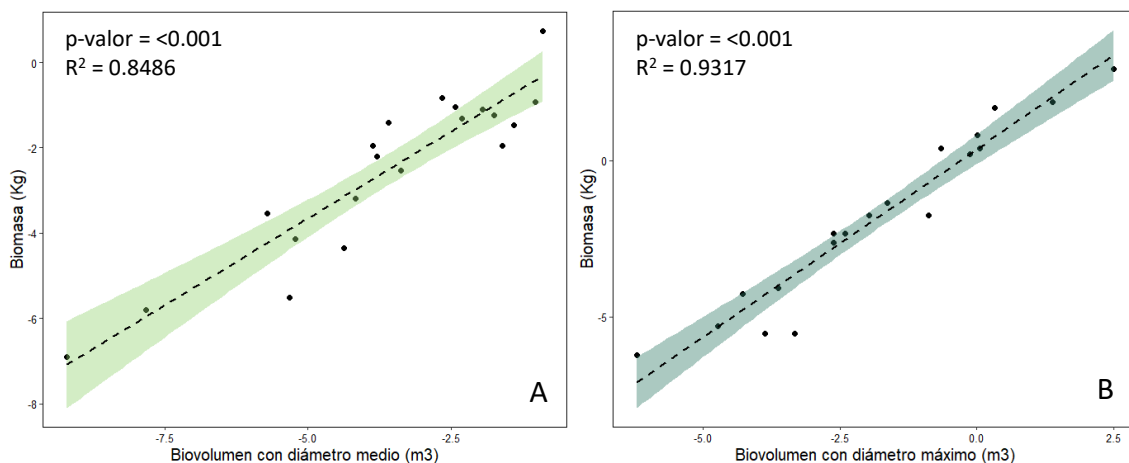
Una vez analizadas todas las variables independientes por los modelos propuestos, se seleccionaron las 2 ecuaciones por especie que mejor explicaban la estimación de biomasa seca para ser comparadas. Estas fueron seleccionadas teniendo en cuenta la normalidad y homocedasticidad de los residuos, un p-valor < 0.01, y un valor de R² cercano a 1. Las ecuaciones se compararon con la prueba de AIC, tomando el valor más reducido.

Finalmente, se concluyó que el mejor modelo para la estimación de la biomasa seca de *B. tomentosa* y de *S. vermiculata* es el modelo log-log, con el biovolumen calculado con el diámetro medio como variable independiente (Figura 5A y 5B). El mejor modelo para *C. vermiculatum* es el log-log con el biovolumen calculado con el diámetro máximo como variable independiente (Figura 5C). Todos los modelos cumplen con los criterios de normalidad y homocedasticidad. Las ecuaciones propuestas para las tres especies son:

$$\ln(\text{Biomasa seca de } B. \text{ tomentosa}) = 0.41988 + 0,81498 * \ln(\text{Biovolumen con DM})$$

$$\ln(\text{Biomasa seca de } C. \text{ vermiculatum}) = 0.35936 + 1.19999 * \ln(\text{Biovolumen con D1})$$

$$\ln(\text{Biomasa seca de } S. \text{ vermiculata}) = -0.4615 + 0.8109 * \ln(\text{Biovolumen con DM})$$



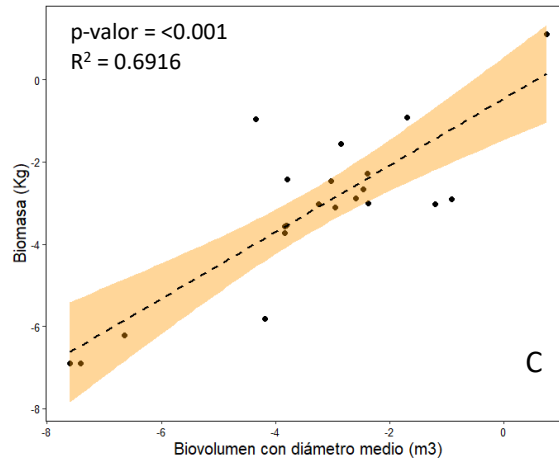


Figura 5. A. Ecuación alométrica para estimar la biomasa seca con el biovolumen calculado con el diámetro medio de *Bassia tomentosa*. B. Ecuación alométrica para estimar la biomasa seca con el biovolumen calculado con el diámetro máximo de *Caroxylon vermiculatum*. C. Ecuación alométrica para estimar la biomasa seca con el biovolumen calculado con el diámetro medio de *Suaeda vermiculata*.

4.3. Biomasa y contenido en carbono de *Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* y *Suaeda vermiculata*

Los individuos de *B. tomentosa* recolectados poseen un rango de altura de 0.1-0.58 m, con un promedio de 0.20 ± 0.12 m; y un rango de diámetro medio de 0.03 - 1.2 m, con un promedio de 0.58 ± 0.34 m. El rango de altura de *C. vermiculatum* es de 0.1 - 0.67 m, con un promedio de 0.30 ± 0.18 m; y rango de diámetro máximo de 0.19 - 5.77 m, con un promedio de 1.27 ± 1.27 m. Para *S. vermiculata* el rango de altura es 0.2 - 0.55 m y un promedio de 0.19 ± 0.11 m; un rango de diámetro medio de 0.095-2.22 m, con un promedio de 0.67 ± 0.51 m. Considerando este rango de variación en los tamaños de cada especie, las ecuaciones propuestas con anterioridad solo podrán ser aplicadas para individuos que entren en estos rangos.

En cuanto a los especímenes inventariados, los valores de altura, diámetro medio y máximo se encuentran incluidos dentro de los rangos máximos de los individuos recolectados para cada especie, salvo para los valores mínimos, los cuales provienen de estimaciones de plántulas muy pequeñas.

Los promedios de biomasa seca por unidad de superficie para *B. tomentosa* son de 0.655 ± 0.486 kg m⁻², para *C. vermiculatum* de 0.57 ± 0.57 kg m⁻², y para *S. vermiculata* de 0.65 ± 1.89 kg m⁻².

Con los análisis realizados por el SEGAI se obtuvieron porcentajes de acumulación de carbono y nitrógeno del 40.33 ± 0.80 % y 1.22 ± 0.28 % para *B. tomentosa*, del 40.52 ± 2.16 % y 1.48 ± 0.64 % para *C. vermiculatum* y de 42.58 ± 0.16 % y 1.41 ± 0.13 % para *S. vermiculata*, respectivamente.

4.4. Biomasa y carbono acumulado en las comunidades substeparias de Lanzarote y Fuerteventura

La biomasa total de las comunidades muestreadas pudo ser calculada gracias a la existencia de ecuaciones alométricas (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024) para algunas de las especies arbustivas inventariadas (*E. balsamifera*, *E. regis-jubae*, *K. neriifolia* y *L. arborescens*), y de una ecuación general para las especies que no poseían ecuaciones específicas. Así, en las comunidades nitrófilas frutescentes inventariadas se obtuvieron unos valores de biomasa seca aérea media de $0.96 \pm 0.87 \text{ t ha}^{-1}$, y en la comunidad de tabaibal dulce 7.43 t ha^{-1} . Ahora bien, dado que la distribución total de las comunidades en Lanzarote es de 24 393.4 ha y 2889.09 ha, respectivamente, se estima que la biomasa seca aérea total acumulada en la isla es de 23 411.76 t para los matorrales nitrófilos frutescentes, y de 21 468.86 t para el tabaibal dulce.

Los valores promedio de biomasa subterránea acumulada en los matorrales nitrófilos frutescentes equivalen a $0.40 \pm 0.36 \text{ t ha}^{-1}$, y a 3.10 t ha^{-1} en el tabaibal dulce. Insularmente se obtienen datos de biomasa subterránea acumulada en comunidades nitrófilas de 9 852.00 t, y de 8 959.71 t en tabaibales dulces.

Con los porcentajes de acumulación de carbono en la biomasa para las tres especies estudiadas, y gracias a la existencia de otros porcentajes calculados previamente (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024) para algunas de las especies presentes en las comunidades (*E. balsamifera*, *E. regis-jubae*, *K. neriifolia*, *L. arborescens*, y *Rubia fruticosa*), se obtienen valores promedio de carbono aéreo acumulado en los matorrales nitrófilos frutescentes de $0.38 \pm 0.35 \text{ t ha}^{-1}$, y de 3.19 t ha^{-1} en el tabaibal dulce. Los valores totales para la isla ascienden a 9 370.88 t C para los matorrales nitrófilos y a 9 204.20 t C para el tabaibal dulce.

En cuanto a las estimaciones de carbono subterráneo, estas poseen valores promedios de $0.17 \pm 0.15 \text{ t ha}^{-1}$ para las comunidades nitrófilas, y de 1.33 t ha^{-1} para el tabaibal dulce. Los valores insulares en las comunidades nitrófilas son de 4 033.65 t C, y en el tabaibal dulce de 3 842.15 t C. Así, el CO₂ al que equivale el carbono acumulado (aéreo y subterráneo) en Lanzarote es de 49 194.63 t en las comunidades nitrófilas frutescentes, y de 47 880.10 t en el tabaibal dulce.

La especie que más contribuye a la biomasa de las comunidades frutescentes es *C. vermiculatum* conformando el $20.96 \pm 23.56 \%$ de la biomasa seca total. *B. tomentosa* y *S. vermiculata* contribuyen con un $1.46 \pm 1.30 \%$ y $0.41 \pm 0.83 \%$, respectivamente

(Figura 6). En los tabaibales dulces domina *E. balsamifera* (85.97 %), seguida de *L. arborescens* (7.69 %) y *E. regis-jubae* (2.86 %).

Debido a la imposibilidad de realizar el muestreo previsto para la isla de Fuerteventura se tuvieron que extrapolar los valores medios de biomasa aérea y subterránea, y carbono aéreo y subterráneo, obtenidos para las dos comunidades muestreadas en Lanzarote. Se obtuvieron así datos de biomasa aérea y subterránea acumulada en los matorrales nitrófilos frutescentes de Fuerteventura de 116 816.00 t y 49 157.82 t; y en los tabaibales dulces de 11 688.46 t y 4 878.00 t, respectivamente. En cuanto a carbono aéreo y subterráneo acumulado en Fuerteventura, para las comunidades nitrófilas se obtuvieron estimaciones de 46 757.22 t y 20 126.42 t; y en las comunidades de tabaibal 5 011.11 t y 2 091.81 t, respectivamente. El CO₂ equivalente calculado es de 24 5462.96 t para los matorrales nitrófilos y de 26 067.72 t para los tabaibales dulces.

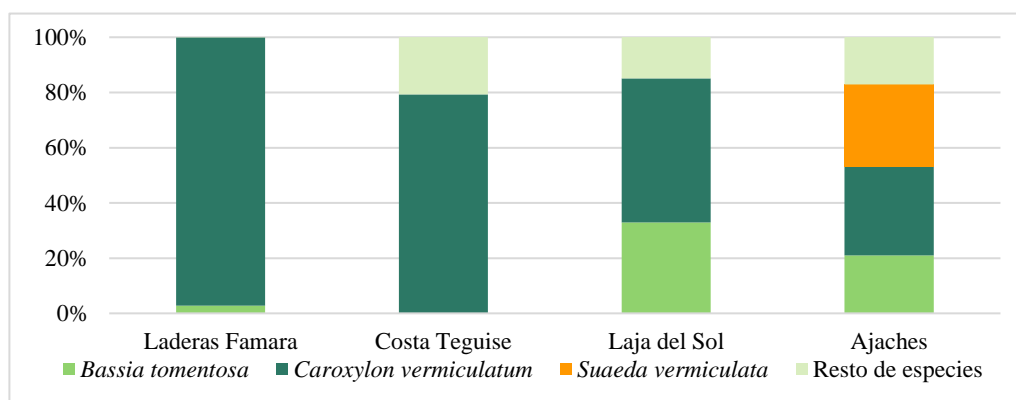


Figura 6. Contribución de *Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* y *Suaeda vermiculata* y otras especies acompañantes a la biomasa seca de las comunidades nitrófilas frutescentes de Lanzarote.

En Lanzarote, el 29 % de la superficie se incluye en zonas antropizadas (urbanizadas, cultivadas) y sin vegetación, mientras que del 71 % de la superficie con vegetación, el 55.02 % se encuentra ocupado por comunidades de matorral. En el caso de Fuerteventura, el territorio antropizado ocupa el 9.10 % de la isla, mientras que la superficie con vegetación es del 90.90 %, extendiéndose los matorrales en el 84.79 % de ella. Con dichas extrapolaciones se ha conseguido caracterizar el 80.89 y 92.73 % de las comunidades de matorrales presentes en Lanzarote y Fuerteventura (Figura 1).

A partir de datos de comunidades de matorrales de Tenerife y de bosques de Gran Canaria (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024), se obtuvieron los valores de biomasa y carbono para el resto de las comunidades de Lanzarote y Fuerteventura no caracterizadas en este estudio (Tabla 6). El tabaibal amargo contribuye con el valor más alto de biomasa (62 679.60 t) y carbono (26 899.50 t) en Lanzarote, mientras que en

Fuerteventura es la segunda comunidad en cuanto al almacenamiento de carbono (26 371.64 t) por detrás de los matorrales nitrófilos.

Tabla 3. Valores de biomasa y carbono acumulado en las comunidades de matorrales y bosques más representativas de Fuerteventura y Lanzarote.

Comunidad	Superficie (ha)	Biomasa (t)	Carbono (t)
<i>Lanzarote</i>			
Nitrófilas frutescentes	24393.40	33263.76	13404.53
Tabaibal dulce	2889.09	30428.56	13046.35
Tabaibal amargo	5778.76	62679.60	26899.50
Ahulagar-saladar	3811.00	9168.55	4108.99
Acebuchal	3.47	-	104.75
Palmeral	0.19	-	6.56
<i>Fuerteventura</i>			
Nitrófilas frutescentes	121714.00	165973.82	66883.64
Tabaibal dulce	1572.93	16566.46	7102.93
Tabaibal amargo	5665.36	61449.60	26371.64
Acebuchal	108.28	-	3270.06
Palmeral	307.33	-	10664.32
Cardonal	294.15	-	5647.68

5. Discusión

5.1 Distribución y cobertura vegetal de las comunidades arbustivas substeparias en las islas orientales

Las comunidades arbustivas substeparias se encuentran ampliamente extendidas en las islas orientales de las Islas Canarias, ocupando aproximadamente el 74 % de la superficie total de ambas islas. Gracias a este estudio se ha conseguido caracterizar el 80.89 % del área total que ocupan los matorrales en Lanzarote (55.02 %), y el 92.73 % del área que ocupan en Fuerteventura (84.7 %). Las dos comunidades muestreadas, los matorrales nitrófilos frutescentes y el tabaibal dulce, constituyen el 58.3 y 1.8 % de la extensión del conjunto oriental. Los matorrales nitrófilos son la vegetación predominante en ambas islas, ocupando 24 393.40 ha en Lanzarote y 121 714.00 ha en Fuerteventura. En el caso del tabaibal dulce, su extensión es minoritaria, 2 889.09 ha en Lanzarote y 1 572.93 ha en Fuerteventura.

La proporción de suelo desnudo en las parcelas inventariadas en Lanzarote es elevada (76 %). Este hecho puede estar asociado a la limitación hídrica que se registra en la isla, pues posee una tasa de precipitación media anual muy baja (111 mm) (AEMET,

2024). Este fenómeno constituye un factor limitante en la cobertura vegetal y abundancia de plántulas en matorrales subáridos y áridos como estos (Wang et al., 2020). En los matorrales nitrófilos de Lanzarote este porcentaje toma valores del 83 %, frente a un 17% de media de cobertura vegetal, pudiéndose deber tanto a las limitaciones hídricas comentadas anteriormente, como posible estrategia contra la aridez y el viento, o como resultado de la presión antrópica que ha sufrido esta comunidad. Estas son comunidades asociadas tradicionalmente al pastoreo caprino y de dromedarios que ha podido contribuir a que la vegetación sea más dispersa (del Arco et al., 2006). Y cabe destacar, que estos valores medios de cobertura no suponen diferencias notables con las coberturas que presentan los ahulagares-saladares en Tenerife (17 %), que son a su vez matorrales de tipo nitrófilo y que constituyen el matorral de sustitución del tabaibal dulce (del Arco et al., 2006). También es importante indicar que, a pesar de que el promedio de cobertura vegetal de las comunidades nitrófilas sea bajo, esta comunidad ocupa el 28 % (243 km²) de la extensión total de la isla, por lo que su caracterización en este tipo de estudios es esencial. Aunque esta relación de proporciones difiere notablemente entre comunidades, el tabaibal dulce presenta un porcentaje de suelo desnudo del 52 % y un 47% de cobertura vegetal, similar a los porcentajes registrados en esta comunidad en Tenerife (43 % y 55%, respectivamente).

Es destacable la tendencia que se observa en el aumento de la cobertura vegetal en las parcelas muestreadas a medida que nos desplazamos hacia el Norte de la isla (*Figura 1 y 3*), lo cual podría ser explicado por la mayor precipitación anual que presenta esta zona, correlacionada directamente con una mayor cobertura vegetal en matorrales áridos-semiáridos (Wang et al., 2020).

5.2. Cobertura de las especies dominantes en cada comunidad

La especie que domina en los matorrales nitrófilos muestreados es *Caroxylon vermiculatum* (20 %), hecho que denota la importancia de incluir esta especie a la hora de caracterizar la comunidad de quenopodiáceas de las islas orientales con sus diferentes facies. Cabe destacar la relevancia de *Bassia tomentosa* (2 %) y *Suaeda vermiculata* (1 %). En la parcela con facie de *S. vermiculata*, esta posee una cobertura similar a la de *C. vermiculatum*, pero al haber sido muestreada en una única parcela, los promedios son bajos. También destaca la contribución de *Launaea arborescens* (0.8 %) donde se encuentra presente. La vegetación con facies de ahulaga constituye la variante dominante en la comunidad, ocupando un 44 % de la extensión total de los matorrales nitrófilos

frutescentes, por lo que es posible que la contribución de esta especie sea mayor de lo que recogen nuestras parcelas de estudio. Además, la presencia de ahulaga podría indicar una posible función de los matorrales nitrófilos como matorrales de sustitución del tabaibal dulce en Lanzarote, pues es típica de suelos alterados, como bordes de caminos o tierras de cultivo abandonadas, en zonas potenciales de tabaibal (del Arco et al., 2006, 2010).

En el tabaibal dulce la especie con mayor cobertura es *Euphorbia balsamifera* (79 %). La parcela para caracterizar esta comunidad se estableció en el Monumento Natural de La Corona, parte de la Red Canaria de Espacios Naturales Protegidos, pero la presencia de *L. arborescens* (10 %) y *Euphorbia regis-jubae* (5 %) es relativamente significativa, lo que denota que esta comunidad podría haber experimentado procesos de degradación debido a la presión antrópica, pues estas especies pertenecen a comunidades de sustitución de dicho tabaibal (del Arco et al., 2006, 2010), y que en la actualidad se está recuperando y avanzando en la sucesión ecológica (Otto et al. 2007).

5.3. Ecuaciones alométricas

Las ecuaciones alométricas desarrolladas para la estimación de la biomasa seca de las tres especies de estudio utilizan como variable independiente el biovolumen. El uso del biovolumen como variable predictora es muy común en el desarrollo de este tipo de ecuaciones (McGinnis et al., 2010; Suganuma et al., 2012; Yang et al., 2017, Nyamjav et al., 2020). Los valores del ajuste de las ecuaciones (R^2) para dos de las tres especies son elevados, 0,85 para *B. tomentosa* y 0,93 para *C. vermiculatum*, indicando la alta fiabilidad que poseen ambas ecuaciones, y demostrando que la mayor parte de la varianza de la muestra queda explicada por el modelo. Mientras que para *S. vermiculata* resultó ser un poco más bajo (0.69). Para las tres especies, se aseguró abarcar toda la variabilidad morfológica posible, cortando individuos con rangos de alturas, diámetro medio y diámetro máximo que abarcaran los máximos y mínimos respectivos de los individuos inventariados, a excepción de los valores mínimos de altura y diámetros, pues constituyen estimaciones de plántulas de muy pequeño porte, que no estaría aportando actualmente valores importantes de biomasa. Cabe destacar la importancia del desarrollo de este tipo de ecuaciones, pues permitirán realizar cálculos de biomasa seca sin necesidad de aplicar métodos destructivos en futuras investigaciones.

Ecuaciones alométricas para *S. vermiculata* y el género *Salsola* ya han sido desarrolladas en un estudio de los matorrales áridos y semiáridos en Túnez (Gafsa y Sbeitla) (Suganuma et al., 2012). También, en los pastizales desérticos del norte de China,

se han desarrollado ecuaciones logarítmicas para el cálculo de biomasa seca de las especies *Caroxylon passerinum* y *Salsola laricifolia* (Tabla 4) (Yang et al., 2017).

Tabla 4. Ecuaciones alométricas desarrolladas por otros investigadores para algunos de los géneros de este estudio.

Especie	Ecuación	R ²	Referencia
<i>Suaeda vermiculata</i>	$Y = 3773 * \text{biovol.DM (m}^3\text{)}$	0.997	Suganuma et al., 2012
<i>Salsola sp.</i>	$Y = 8163 * \text{area.DM}^2 \text{ (m}^2\text{)}$	0.997	Suganuma et al., 2012
<i>Caroxylon passerinum</i>	$\ln(\text{biomasa seca}) = -4.495 + 0.884 * \ln(\text{biovol.D1D2 (cm}^3\text{)})$	0.893	Yang et al., 2017
<i>Salsola laricifolia</i>	$\ln(\text{biomasa seca}) = -0.241 + 0.467 * \ln(\text{biovol.D1D2 (cm}^3\text{)})$	0.821	Yang et al., 2017

Si comparamos los valores de R², los encontrados en la bibliografía poseen R² superiores, lo que indica una alta fiabilidad para las ecuaciones y que la mayor parte de la varianza de la muestra queda explicada por los modelos. Sin embargo, durante la recolección de individuos para el desarrollo de las ecuaciones de *S. vermiculata* y del género *Salsola* en Túnez (Suganuma et al., 2012), los investigadores realizaron el secado a 100°C por un periodo de 24 horas, lo que en este estudio se comprobó que no es tiempo suficiente para que las muestras pierdan todo su contenido hídrico antes del pesaje final, por lo que podrían haberse obtenido ecuaciones que sobreestimen los valores de biomasa seca. En el caso de las ecuaciones desarrolladas por Yang et al. (2017) para *C. passerinum* y *S. laricifolia*, los individuos recolectados fueron secados a 65°C hasta peso constante, por lo que estas ecuaciones podrían obtener buenas estimaciones de biomasa seca para esas especies. Cabe destacar que actualmente no existen ecuaciones alométricas específicas para el género *Bassia*, por lo que la ecuación desarrollada en este estudio permitirá, no solo el cálculo de su biomasa sin métodos destructivos, sino que servirá como modelo para la creación de futuras ecuaciones para otras especies del género.

Por otro lado, las diferencias de distribución de las especies y géneros comentados anteriormente, así como las condiciones ambientales características en las que se desarrollan, denotan la necesidad de la creación de ecuaciones específicas para las especies presentes en el archipiélago. Asimismo, la elaboración de estas tres ecuaciones podrá facilitar el estudio de biomasa y carbono acumulado en las zonas donde *B. tomentosa*, *C. vermiculatum* y *S. vermiculata* se encuentran presentes actualmente, como en las costas áridas y semiáridas del Mediterráneo, Canarias, del Mar Caspio, Mar Negro

y Mar de Aral, Marruecos, Túnez, Egipto, Australia, el oeste de Estados Unidos, Chile y Argentina (McArthur & Sanderson, 1984; Padrón Mederos, 2012).

5.4. Análisis elemental

El contenido de carbono almacenado en las tres especies recolectadas, 40 % para *B. tomentosa*, 40.5 % para *C. vermiculatum*, y 42.6 % para *S. vermiculata* es más bajo que el promedio del contenido de carbono de las especies arbustivas leñosas (46 %, aproximadamente) y suculentas (43 %, aproximadamente) analizadas en Tenerife (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024). Sin embargo, su contenido en nitrógeno es muy elevado, alcanzando valores de entorno al 1.5 % (1.2 % para *B. tomentosa*, 1.5 % para *C. vermiculatum*, y 1.4 % para *S. vermiculata*), que superan con creces a los obtenidos para las especies dominantes de los principales matorrales caracterizados en Tenerife, siendo este de 0.67 % aproximadamente; y para comunidades de leguminosas, especializadas en la fijación de nitrógeno, del 1 %, aproximadamente.

Estos elevados valores de nitrógeno son datos típicos en comunidades arbustivas de suelos áridos-semiáridos y desérticos (3-4 % de nitrógeno por peso seco), los cuales son más altos que en las plantas de otro tipo de suelos o biomasa, concentrándose este nitrógeno principalmente en zonas de nuevo crecimiento (Skucjiņš, 1981). Este hecho podría estar asociado a la existencia de asociaciones micorrícicas entre plantas de la familia Chenopodiaceae, (Skucjiņš, 1981; Zhao et al., 2016). Por otra parte, los suelos en los que se desarrollan estas comunidades son cálcicos (haplocálcicos o petrocálcicos) o pedregosos, donde en condiciones normales no se registran elevadas concentraciones de nitrógeno. Sin embargo, gran parte de la distribución actual de los matorrales nitrófilos corresponden a tierras de cultivo abandonadas, que pueden haber sido abonadas en el pasado (Arévalo et al., 2016), por lo que se recomendaría el estudio del contenido elemental del suelo de las zonas dominadas por este tipo de matorral.

Cabe destacar que, el nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes para el crecimiento y desarrollo vegetal de los organismos, y que cumple un papel fundamental en la capacidad de tolerancia que poseen las especies halófilas al estrés salino. Este nutriente protege a las plantas contra los daños oxidativos que provocan la tolerancia a la sal, induce la señalización celular que mitiga los impactos adversos de la salinidad, participa en la síntesis de proteínas y aminoácidos esenciales y ayuda a mantener la turgencia celular (Aslam et al., 2023; Ye et al., 2022). Muchos estudios han confirmado que los procesos de toma y almacenamiento de nitrógeno y fósforo están relacionados en

plantas halófilas, y que su coordinación es lo que permite un crecimiento óptimo y un balance nutricional adecuado en ambientes nutricionalmente empobrecidos (Aslam et al., 2023; Skucejņš, 1981; Stewart et al., 1972; Ye et al., 2022). En un estudio realizado en la región de Hulunbuir, en China, se pudo observar este efecto al analizar las características estequiométricas ecológicas del C, N y P en quenopodiáceas de los géneros estudiados en este trabajo (*Salsola*, *Suaeda* y *Bassia*), concluyéndose que estas especies acumulan N y P en distintos órganos como estrategia para la optimización de recursos, y como una adaptación activa para promover la fotosíntesis y paliar la pérdida de carbono debido a la inhibición del crecimiento del sistema radicular (Su et al., 2022). Dados estos resultados, se recomendaría abordar el estudio de esta relación N-P en las quenopodiáceas canarias y de las islas orientales, y sobre todo realizar análisis del contenido de C, N y P de las distintas estructuras de los individuos y los suelos en los que se desarrollan.

5.5. Acumulación de biomasa y carbono en los matorrales substeparios de las islas orientales

La biomasa aérea de las comunidades nitrófilas frutescentes ha podido ser calculadas gracias a la aplicación de las ecuaciones desarrolladas en este estudio o las existentes previamente (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024), obteniéndose valores promedio de 0.96 t ha^{-1} . Este valor concuerda con el tipo de matorral y la distribución que presenta en la isla, siendo este muy disperso y con individuos de porte pequeño a mediano y rastreros, asociados a la limitación hídrica que presenta la zona. Esta estructura espacial dispersa también explica el que posea un promedio de biomasa aérea menor al de los matorrales nitrófilos de costa presentes en Tenerife, que toman valores de 1.7 t ha^{-1} , aproximadamente. El valor resulta más bajo aún si lo comparamos con otros matorrales de clima mediterráneo, como el matorral costero de salvia del sureste de California, con valores medios de biomasa aérea acumulada de 16 t/ha (Bohlman & Safford, 2018), o el matorral árido de Chile, con una acumulación media de 8 t ha^{-1} . Por otra parte, en el tabaibal dulce los datos de biomasa aérea obtenidos ascienden a 7.43 t ha^{-1} , siendo muy similares a algunos registros de Tenerife (12.8 t ha^{-1} , aproximadamente).

En el cálculo de biomasa subterránea se obtuvieron valores promedios de 0.40 t ha^{-1} para los matorrales nitrófilos, y de 3.10 t ha^{-1} para el tabaibal dulce, siendo estos en proporción la mitad de los valores de biomasa aérea. Sin embargo, es importante resaltar que estos cálculos se han realizado aplicando ecuaciones generales para la mayoría de las especies inventariadas (Vega, 2021), por lo que sería recomendable para futuras

investigaciones el desarrollo de ecuaciones específicas de biomasa subterránea para las principales especies de los matorrales nitrófilos de las islas orientales.

Los resultados de carbono acumulado en los matorrales nitrófilos presentan porcentajes menores que los de otras especies de matorrales de Tenerife, y por tanto el carbono acumulado también es inferior, 0.38 t ha^{-1} de carbono aéreo y 0.17 t ha^{-1} de carbono subterráneo. En el caso del tabaibal dulce, este posee valores similares a los obtenidos en Tenerife, 3.19 t ha^{-1} de carbono aéreo y 1.33 t ha^{-1} de carbono subterráneo. Las extrapolaciones realizadas en la isla de Fuerteventura indican que la comunidad con mayor acumulación de carbono es la nitrófila frutescente (66 883.64 t), mientras que la que posee una menor acumulación es la de acebuchal (3 270.06 t). Estos valores se explican debido a la poca extensión que poseen los bosques en las islas orientales debido a sus condiciones climáticas y orografía (del Arco, 2006). Es importante resaltar que estos hallazgos provienen de estimaciones, y que en el futuro se procederá a la caracterización de dichas comunidades en Fuerteventura. Con estos resultados queda claro que, a pesar de que las comunidades nitrófilas no poseen grandes acumulaciones de biomasa y carbono por unidad de superficie, su extensión es tan elevada (24 393.40 ha en Lanzarote y 121 714.00 ha en Fuerteventura) que su aporte a la biomasa y carbono en las islas orientales resulta considerable.

Asimismo, con el uso de promedios de biomasa y carbono para otras comunidades muestreadas en Tenerife (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2024) y la distribución actual de dichas comunidades, se obtuvieron valores de biomasa para la mayoría de los matorrales de la isla (*Tabla 6*). Destacando la contribución del tabaibal amargo, con 62 679.60 t de biomasa y 26 899.50 t de carbono para Lanzarote y 61 449.60 t de biomasa y 26 371.64 t de carbono para Fuerteventura. Debe tenerse en cuenta que estos valores pueden estar sesgados, porque los promedios utilizados para este cálculo provienen de comunidades en Tenerife, con un estado de conservación y desarrollo distintos a los de las comunidades presentes en Lanzarote. De la misma forma, estos resultados indican la necesidad de caracterizar las comunidades secundarias en las islas orientales, pues podrían tener un papel importante en la acumulación de biomasa y carbono, así como para la aplicación de posibles medidas de compensación y mitigación de la huella de carbono en Canarias.

Como posibles medidas de compensación y mitigación de la huella de carbono, el IPCC propone que la reforestación de zonas boscosas mediante la replantación o la colonización natural por especies de árboles y arbustos de especies nativas, resilientes al

clima y acumuladoras de carbono, permitiría aumentar la capacidad de sumidero de carbono del ecosistema, aumentando también la biodiversidad y disminuyendo procesos de erosión en las zonas más áridas (IPCC, 2023). Actualmente, la mayor parte de las tierras de cultivo en las islas orientales se encuentran abandonadas, aumentando así los fenómenos de erosión que se desarrollan en ellas (Arévalo et al., 2016; del Arco et al., 2006). Por ello, la expansión de las comunidades nitrófilas frutescentes se ha visto aumentada en las últimas décadas (Arévalo et al., 2016; del Arco et al., 2006). Sin embargo, la riqueza de especies que comprenden, obtenida de la caracterización de la comunidad en este estudio, es inferior a la de la vegetación potencial para la isla propuesta por del Arco y colaboradores (del Arco et al., 2006, 2010; del Arco & Delgado, 2018), presentando las comunidades nitrófilas caracterizadas, una riqueza media de cuatro especies y el tabaibal dulce de ocho especies. Además de la existencia de numerosos endemismos exclusivos de las islas orientales, así como comunidades propias, como el cardonal de Jandía. Es por esto que, atendiendo a las recomendaciones del IPCC y a la biodiversidad y estado de conservación que presentan las islas orientales actualmente, una propuesta de compensación y mitigación de la huella de carbono en Canarias sería la restauración del tabaibal dulce, cardonal, y acebuchal, entre otros, en las áreas de extensión potencial propuestas por del Arco y colaboradores, reemplazando las zonas en las que las comunidades nitrófilas se encuentren presenten como matorrales de sustitución y en zonas de cultivo abandonadas.

Gracias a los esfuerzos realizados en este estudio, se han obtenido las primeras estimaciones de biomasa y carbono acumulado para las Islas Canarias orientales, en las que no se habían realizado estudios previos de esta índole, unas islas poco urbanizadas (29 % para Lanzarote y 9.10 % para Fuerteventura) y dominadas por comunidades de matorral, con una extensión del 55 % en Lanzarote, y el 85 % en Fuerteventura.

6. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

1. La comunidad caracterizada con mayor cobertura vegetal en Lanzarote es el tabaibal dulce (47.98 %), aunque es la tercera en extensión (3.42 %), mientras que las comunidades nitrófilas frutescentes tienen la menor cobertura (17.12 %) pero la mayor extensión (28.85 %). El tabaibal amargo, que no fue caracterizado en este trabajo, es el segundo en extensión en la isla (6.83 %). Las especies que definen los matorrales nitrófilos frutescentes de acuerdo con del Arco et al. (2010) son las

dominantes en cuanto a cobertura: *Caroxylon vermiculatum* (20.71 %), *Bassia tomentosa* (1.69 %) y *Suaeda vermiculata* (1.30 %).

2. Las 3 especies más representativas de las comunidades de matorral nitrófilo (*Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* y *Suaeda vermiculata*) poseen porcentajes de carbono almacenado (41 %) inferiores al promedio acumulado en las especies arbustivas leñosas (46%) y suculentas (43%) analizadas en Tenerife. Pero posee valores de nitrógeno acumulado (1.5 % de media) más elevados, incluso que las especies leguminosas (1 %).
3. Las ecuaciones alométricas propuestas para *B. tomentosa*, *C. vermiculatum* y *S. vermiculata* hacen uso del biovolumen como mejor estimador de la biomasa seca.
4. En este estudio se ha conseguido estimar el carbono almacenado en el 80.89 % y 92.73 % de las comunidades de matorral presentes en Lanzarote y Fuerteventura.
5. Los matorrales nitrófilos frutescentes de Lanzarote presentan promedios de biomasa aérea y subterránea de 0.96 t ha⁻¹ y 0.40 t ha⁻¹, y el tabaibal dulce de 7.43 t ha⁻¹ y 3.10 t ha⁻¹, respectivamente. Esto suponen un acúmulo de biomasa de 199 237.58 t en los matorrales nitrófilos, y de 46 995.02 t en los tabaibales dulces de las islas orientales.
6. Las comunidades de matorral nitrófilo de Lanzarote acumulan de media 0.38 t ha⁻¹ de carbono aéreo y 0.17 t ha⁻¹ de carbono subterráneo, y las de tabaibal dulce 0.38 t ha⁻¹ de carbono aéreo y 0.17 t ha⁻¹ de carbono subterráneo. Esto supone un almacenamiento de carbono total de 80 288.17 t en las comunidades nitrófilas y de 20 149.28 t en el tabaibal dulce de las islas orientales. Pese al bajo valor del carbono almacenado por unidad de superficie, su importancia para el almacén de carbono de Canarias reside en la amplia extensión de estas comunidades arbustivas en las islas.
7. Las estimaciones obtenidas del carbono almacenado en las islas orientales podrán contribuir al desarrollo de futuras estrategias de mitigación de la huella de carbono en Canarias.

The conclusions of this project are the following:

1. The characterised community with the highest vegetation cover in Lanzarote is the sweet spurge scrubland (47.98 %), although it is the third in extension (3.42 %), while nitrophilous frutescent communities have the lowest cover (17.12 %) but the highest extension (28.85 %). The bitter spurge scrubland, not characterised in this work, is the second in extent on the island (6.83 %). The species that define the nitrophilous frutescent scrub according to del Arco et al. (2010) are the dominant ones in terms of

cover: *Caroxylon vermiculatum* (20.71 %), *Bassia tomentosa* (1.69 %) and *Suaeda vermiculata* (1.30 %).

2. The 3 most representative species of the nitrophilous scrub communities (*Bassia tomentosa*, *Caroxylon vermiculatum* and *Suaeda vermiculata*) have lower percentages of stored carbon (41 %) than woody shrub species (46 %) and succulent species (43 %) analysed in Tenerife. But it has higher values of accumulated nitrogen (1.5 % on average), even higher than leguminous species (1 %).
3. The allometric equations proposed for *B. tomentosa*, *C. vermiculatum* and *S. vermiculata* use the biovolume as the best estimator of aerial dry biomass.
4. In this study, the carbon stored in the 80.89 % and 92.73 % of the scrublands' surface of Lanzarote and Fuerteventura was estimated.
5. The nitrophilous shrubs of Lanzarote have an average aboveground and belowground biomass of 0.96 t ha⁻¹ and 0.40 t ha⁻¹, and the sweet spurge shrubland of 7.43 t ha⁻¹ and 3.10 t ha⁻¹, respectively. This means a biomass accumulation of 199 237.58 t in the nitrophilous shrubs, and 46 995.02 t in the sweet spurge of the eastern islands.
6. The nitrophilous scrub communities of Lanzarote accumulate on average 0.38 t ha⁻¹ of aboveground carbon and 0.17 t ha⁻¹ of belowground carbon, and the sweet spurge communities accumulate 0.38 t ha⁻¹ of aboveground carbon and 0.17 t ha⁻¹ of belowground carbon. This represents a total carbon storage of 80 288.17 t in the nitrophilous communities and 20 149.28 t in the sweet spurge scrub of the eastern islands. Despite the low value of carbon stored per unit area, the importance of these shrub communities for the Canary Islands' carbon storage lies in their wide extension through the islands.
7. Estimating the carbon stocks in the eastern islands may contribute to developing future carbon footprint mitigation strategies for the Canary Islands.

7. Bibliografía

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2024). *Análisis estacional: Lanzarote Aeropuerto – Verano 2024 - Precipitación*. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Gobierno de España. https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/analisis_estacional?w=&l=C029O&datos=prec

Alfredo, R. B. J., Arnoldo, S. G., Guma, I. R., De la Laguna - Departamento de Biología Vegetal, U., & De Investigaciones Agrarias, I. C. (2012). *Caracterización morfológica y genética de especies arbustivas de los géneros Salsola L. y Suaeda Forssk. ex J.F. Gmel. en las Islas Canarias*. Universidad de la Laguna. <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21178>

Anta, B., Pascual, A., González, B., Medina, D., González, E., et al. (2022). Estrategia canaria de acción climática. *Gobierno de Canarias*.

- Arévalo, J. R., Tejedor, M., Jiménez, C., Reyes-Betancort, J. A., & Díaz, F. J. (2016). Plant species composition and richness in abandoned agricultural terraces vs. natural soils on Lanzarote (Canary Islands). *Journal Of Arid Environments*, 124, 165-171. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.012>
- Aslam, M. T., Khan, I., Chattha, M. U., Maqbool, R., Ziaulhaq, M., Lihong, W., Usman, S., Rasheed, A., Hassan, M. U., Hashem, M., Elnour, R. O., Iqbal, M. M., & Arshad, M. (2023). The critical role of nitrogen in plants facing the salinity stress: Review and future prospective. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(3), 13347. <https://doi.org/10.15835/nbha51313347>
- Bohlman, G. N., Underwood, E. C., & Safford, H. D. (2018). Estimating biomass in california's chaparral and coastal sage scrub shrublands. *Madroño*, 65(1), 28–46. <http://www.jstor.org/stable/44841117>
- Boletín Oficial del Canarias (BOC) (2023). 1735 DECRETO 80/2023, de 18 de mayo, por el que se aprueba la Estrategia Canaria de Acción Climática. <https://www.gobiernodecanarias.org/boc/2023/104/009.html>
- Cabello, J., Escudero, A., Rodà, F., Olano, J.M., Fernández-Palacios, J.M., Gallardo, A., & Valladares, F. (2009). Grupo 5. Matorrales esclerófilos, halonitrófilos y estepas continentales halófilas y gipsófilas. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Cruz, J. C. C., & Ramírez, M. A. (2020). Ecuaciones de aditividad para la estimación de biomasa aérea de *Pinus cembroides* Zucc. *Madera Bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611821>
- del Arco Aguilar, M. J., Wilpret de la Torre, W., Pérez de Paz, P. L., Rodríguez Delgado, O., Acebes Ginovés, J. R., et al. (2006). *Mapa de vegetación de Canarias: Mapas, memoria general*. GRAFCAN.
- del Arco Aguilar, M., González-González, R., Garzón-Machado, V., & Pizarro-Hernández, B. (2010). Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status. *Biodiversity And Conservation*, 19(11), 3089-3140. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9881-2>
- del Arco Aguilar, M. J., & Delgado, O. R. (2018). Vegetation of the Canary Islands. En *Plant and vegetation*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77255-4>
- Ellis, E. C., Gauthier, N., Goldewijk, K. K., Bird, R. B., Boivin, et al. (2021). People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, 118(17). <https://doi.org/10.1073/pnas.2023483118>
- Fernández-Palacios, J. M., López, R. J., J, G. E. J., & Luzardo, M. C. (1992). *Descripción e interpretación ecológica de las diferencias entre el matorral de costa y de cumbre en Tenerife*. Universidad de la Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/18713>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M., Andrew, R. M., Gregor, L., et al. (2022). Global Carbon Budget 2022. *Earth System Science Data*, 14(11), 4811-4900. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. et al. (2023). Global Carbon Budget 2023. *Earth System Science Data*, 15(12), 5301-5369. <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>
- Gómez-Díaz, J. D., Etchevers-Barra, J. D., Monterrosos-Rivas, A. I., Campo-Alvez, J., & Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo*, 17(2), 261-272. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.11.117>
- Grupo de Investigación de Ecología y Biogeografía Insular, grupo de investigación de Fisiología Vegetal (2022). Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono. Memoria parcial 2022. Universidad de La Laguna.
- Grupo de Investigación de Ecología y Biogeografía Insular, grupo de investigación de Fisiología Vegetal (2024). Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono. Memoria parcial 2024. Universidad de La Laguna.
- Hendriks, K., Gubbay, S., Arets, E., & Erhard, M. (2023). Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems: a lever for nature restoration?. *European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/publications/carbon-stocks-and-sequestration-rates>
- Houérou, H. N. L. (1994). Forage halophytes and salt-tolerant fodder crops in the Mediterranean Basin. En *Tasks for vegetation science* (pp. 123-137). https://doi.org/10.1007/978-94-011-0818-8_10
- Houghton, R. A. (2003). The contemporary carbon cycle. En *Treatise on Geochemistry* (Vol. 8, pp. 473-513). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/08168-8>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- McGinnis, T. W., Shook, C. D., & Keeley, J. E. (2010). Estimating Aboveground Biomass for Broadleaf Woody Plants and Young Conifers in Sierra Nevada, California, Forests. *Western Journal Of Applied Forestry*, 25(4), 203-209. <https://doi.org/10.1093/wjaf/25.4.203>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2024a). Información general sobre el registro de huella de carbono, compensación y proyecto de absorción de dióxido de carbono. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/registro-huella/que_es_registro.html

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2024b). ¿Qué es el cambio climático?. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico.html>

Montero, G., López-Leiva, C., Ruiz-Peinado, R., & Pasalodos-Tato, M. (2020). Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. https://www.researchgate.net/publication/342833290_Produccion_de_biomasa_y_fijacion_de_carbono_p_or_los_matorrales_espanoles_y_por_el_horizontes_organico_superficial_de_los_suelos_forestales

Nyamjav, J., Batsaikhan, M., Li, G., Li, J., Luvsanjamba, A., *et al.* (2020). Allometric equations for estimating above-ground biomass of *Nitraria sibirica* Pall. in Gobi Desert of Mongolia. *PLoS One*, 15(9), e0239268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239268>

Oficina Española de Cambio Climático (OECC) (2023). Cambio climático, sumideros de carbono. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros_tcm30-178384.pdf

Otto, R., Krüsi, B., & Kienast, F. (2007). Degradation of an arid coastal landscape in relation to land use changes in Southern Tenerife (Canary Islands). *Journal Of Arid Environments*, 70(3), 527-539. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.02.001>

Rodríguez, A. R., Mora, J. L., Arbelo, C., & Bordon, J. (2005). Plant succession and soil degradation in desertified areas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain). *Catena*, 59(2), 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2004.07.002>

Skujiniš, J. (1981). Nitrogen cycling in arid ecosystems. *Ecological Bulletins*, 33, 477-491. <http://www.jstor.org/stable/45128683>

Stewart, G. R., Lee, J. A., & Orebamjo, T. O. (1972). Nitrogen metabolism of halophytes. *New Phytologist*, 71(2), 263-267. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1972.tb04072.x>

Suganuma, H., Kawada, K., Smaoui, A., Suzuki, K., Isoda, H., *et al.* (2012). Allometric Equations and Biomass Amount of Representative Tunisian Arid Land Shrubs for Estimating Baseline. *Journal Of Arid Land Studies*, 22(1), 219-222. http://nodaiweb.university.jp/desert/pdf/JALS-P30_219-222.pdf

Wang, H., Yao, F., Zhu, H., & Zhao, Y. (2020). Spatiotemporal Variation of Vegetation Coverage and Its Response to Climate Factors and Human Activities in Arid and Semi-Arid Areas: Case Study of the Otindag Sandy Land in China. *Sustainability*, 12(12), 5214. <https://doi.org/10.3390/su12125214>

Wu, X., Shen, C., Shi, L., Wan, Y., Ding, J., *et al.* (2024). Spatio-temporal evolution characteristics and simulation prediction of carbon storage: A case study in Sanjiangyuan Area, China. *Ecological Informatics*, 80, 102485. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102485>

Yang, H., Wang, Z., Tan, H., & Gao, Y. (2017). Allometric models for estimating shrub biomass in desert grassland in northern China. *Arid Land Research And Management/Arid Land Research And Management*, 31(3), 283-300. <https://doi.org/10.1080/15324982.2017.1301595>

Yang, Y., Wang, F., Jin, J., Hu, S., & Gao, Y. (2019). Carbon storage potential and seasonal dynamics of phytolith from different vegetation types in a subtropical region, China. *Environmental Science And Pollution Research International*, 26(29), 29834-29844. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06143-5>

Ye, J. Y., Tian, W. H., & Jin, C. W. (2022). Nitrogen in plants: from nutrition to the modulation of abiotic stress adaptation. *Stress Biology*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44154-021-00030-1>

Yuhang, S. U., Xiaoqian, S. O. N. G., Jingwen Zheng, Z. Z., & Zhonghua, T. A. N. G. (2022). Ecological Stoichiometric Characteristics of C, N and P and Their Relationship with Soil Factors from Different Organs of the Halophytic Chenopodiaceae Plants in Hulunbuir. *Bulletin of Botanical Research*, 42(5), 910.

Zhao, Y., Yu, H., Zhang, T., & Guo, J. (2016). Mycorrhizal colonization of chenopods and its influencing factors in different saline habitats, China. *Journal Of Arid Land/Journal Of Arid Land*, 9(1), 143-152. <https://doi.org/10.1007/s40333-016-0027-6>