

# **Cuantificación del carbono almacenado en *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de la isla de Tenerife, Islas Canarias**

Quantification of the carbon storage of *Euphorbia balsamifera*  
on the sweet spurge scrub on Tenerife, Canary Islands



Trabajo de Fin de Grado

**Cecilia María Pérez Felipe**

Tutorizado por Lea de Nascimento Reyes y Elena Rocafull Pérez

Grado en Biología

Septiembre 2022

## Contenido

Resumen .....	3
Abstract .....	3
1. Introducción .....	4
1.1. El cambio climático, sus consecuencias y sus propuestas de solución .....	4
1.2. Ecosistemas terrestres como sumideros de carbono.....	6
1.3. Mitigación en España .....	7
1.4. Objetivos del proyecto “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono” .....	8
1.5. Matorral costero .....	10
2. Objetivos .....	11
3. Material y método .....	11
3.1. Área de estudio.....	11
3.2. Distribución y cobertura del tabaibal dulce.....	12
3.3. Tabaiba dulce .....	13
3.4. Cálculo de la biomasa de <i>Euphorbia balsamifera</i> en el tabaibal dulce de Tenerife.....	14
3.4.1. Cuantificación de la biomasa de individuos de <i>Euphorbia balsamifera</i> .....	14
3.4.2. Estimación de la biomasa aérea almacenada por <i>Euphorbia balsamifera</i> en el tabaibal dulce tinerfeño. ....	16
3.5. Desarrollo de la ecuación alométrica .....	16
4. Resultados .....	17
4.1. Cobertura de <i>Euphorbia balsamifera</i> en el tabaibal dulce tinerfeño.....	17
4.2. Cuantificación de la biomasa de <i>Euphorbia balsamifera</i> .....	18
4.2.1. Biomasa y contenido hídrico de hojas y leño.....	20
4.3. Datos biométricos para la ecuación alométrica .....	20
4.4. Desarrollo de la ecuación alométrica .....	21
4.4.1. Detección de datos atípicos .....	21
4.4.2. Ecuación alométrica de <i>Euphorbia balsamifera</i> .....	22
4.5. Estimación de la biomasa y carbono almacenado por <i>Euphorbia balsamifera</i> en el tabaibal dulce de Tenerife. ....	24
5. Discusión .....	25
5.1. Cobertura de <i>Euphorbia balsamifera</i> en el tabaibal dulce .....	25
5.2. Contenido hídrico de <i>Euphorbia balsamifera</i> .....	26
5.3. Ecuación alométrica .....	26
5.4. Estimación de la biomasa y del carbono acumulado.....	28
6. Conclusiones .....	29
7. Referencias bibliográficas .....	31

## Resumen

*Euphorbia balsamifera* es la especie dominante de la comunidad vegetal del tabaibal dulce tinerfeño. Esta comunidad de matorral está bien representada en las islas Canarias y contribuye con su biomasa en la reducción y compensación de la huella de carbono, aunque el dato exacto de esta contribución se desconoce. El principal objetivo de este proyecto es estimar la biomasa y el carbono almacenado por la tabaiba dulce (*E. balsamifera*) en el tabaibal dulce de Tenerife. Se calculó la cobertura de *E. balsamifera*, en distintas localidades la isla, para abarcar la mayor variabilidad posible de la comunidad. La cobertura de *E. balsamifera* representa un 36% de la superficie del tabaibal dulce. Se estimó además la biomasa aérea en 27 individuos de la especie por unidad de superficie (1,44 kg/m<sup>2</sup>). Con ambos valores se estimó el carbono almacenado por la especie en el tabaibal dulce (26.050 t). Finalmente, se desarrolló una ecuación alométrica cuadrática con una transformación de los datos de biomasa seca mediante la raíz cuadrada para estimar la biomasa aérea de la especie a partir de datos biométricos (diámetro medio), evitando el uso de métodos destructivos en estimaciones futuras. Este estudio mostró la contribución de *E. balsamifera* en el almacenamiento de carbono en la vegetación costera canaria, y será de aplicación para futuras medidas de gestión encaminadas a compensar la huella de carbono en Tenerife.

**Palabras clave:** biomasa, tabaibal dulce, ecuación alométrica.

## Abstract

*Euphorbia balsamifera* is the dominant species in the vegetation community of “tabaibal dulce” or sweet spurge scrub on Tenerife. This scrub is well represented in the Canary Islands, contributing with a relative amount of biomass, thus having a roll in the reduction and compensation of the carbon footprint. The main objective of this work is to estimate the biomass and the carbon content stored by *E. balsamifera* in the sweet spurge scrub on Tenerife. We measured the coverage of *E. balsamifera* in different localities of the island to cover the higher variability within the community. *Euphorbia balsamifera* cover represented a 36% of the total area of the sweet spurge on the island. We estimated the aerial biomass (1,44 kg/m<sup>2</sup>) in 27 individuals of *E. balsamifera* per unit area. Biomass per unit area and plant coverage, were used to estimate the amount of carbon stored (26.050 t). Finally, we developed an allometric equation to estimate the aerial biomass for the species from morphometric data (average diameter), to avoid the use of destructive methods when estimating biomass in future research. This study showed the contribution of *E. balsamifera* on carbon storage of the Canarian coastal vegetation

and will be useful for future management measures aiming to offset the carbon footprint of Tenerife.

**Keywords:** biomass, sweet spurge scrub, allometric equation.

## 1. Introducción

### 1.1. El cambio climático, sus consecuencias y sus propuestas de solución

El cambio climático antrópico se define como un cambio en las propiedades estadísticas del sistema climático (principalmente su media y variación) durante largos periodos de tiempo, debido al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera inducido por las actividades humanas. Entre sus efectos se incluye el calentamiento global, es decir, el aumento gradual, observado o proyectado, de la temperatura global de la superficie del planeta a largo plazo, sus efectos sobre otras variables climáticas y sus impactos.

Es un problema ambiental a escala mundial, que forma parte del cambio global, y afecta cada día más, tanto al funcionamiento de los ecosistemas, como a la supervivencia y bienestar de la población humana. En las últimas décadas, la concentración de GEI ha ido en aumento debido a las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles. Esto provoca que desde el inicio de la revolución industrial se haya producido un aumento de las temperaturas superficiales en todo el planeta entre 0,8-1,2°C, siendo la década comprendida entre 2010 y 2019 la más cálida registrada en los últimos 2000 años. Además del aumento de la temperatura, otras consecuencias son los cambios en los patrones de precipitaciones anuales a nivel global, la reducción de la extensión de hielo tanto en el Ártico como en la Antártida, y el consecuente aumento del nivel del mar (Pörtner et al., 2022).

Los ecosistemas terrestres y marinos están relativamente bien estudiados a escala global, lo que permite saber con certeza cómo están cambiando su estructura y sus funciones a causa del cambio climático antrópico. Entre los múltiples efectos se ha observado el cambio en el rango de distribución de las especies, así como de su fenología; también ha habido un aumento de frecuencia e intensidad de las olas de calor y de eventos climáticos extremos como la sequía, la calima y las inundaciones, entre otras; y la acidificación de los océanos. Como, por ejemplo, en los arrecifes de coral se están produciendo blanqueamientos debido a la acidificación de los océanos (Anthony, 2016).

A parte de los efectos en el medio natural, también se manifiestan problemas para la población, ya que los cambios en el clima dificultan la producción de alimentos lo que provoca la

inseguridad alimentaria en regiones sensibles (Pörtner et al., 2022). El cambio climático supone un problema irreversible para la población humana, que puede ser menos resiliente que muchos ecosistemas. El aumento de la temperatura en el planeta favorece la sequía y, por tanto, la escasez de agua. Todo esto ocasiona graves problemas de escasez de alimentos y malnutrición; además, el incremento de fenómenos meteorológicos extremos y sus daños asociados, tienen efectos sobre la economía y a la sociedad. Estos impactos afectan más a regiones de Europa y Norte América, que coinciden con los países más desarrollados, que a su vez son los que producen el 68% de las emisiones de GEI a nivel mundial (Pörtner et al., 2022).

Actualmente, se estima que la temperatura media global habrá aumentado entre 1,4 y 4,4°C para final de siglo, de acuerdo con las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP, *Socioeconomic Shared Pathways*), que estiman escenarios de emisiones de reducciones drásticas (SSP1-1,9) o muy elevadas (SSP5-8,5), respectivamente. Por tanto, se han ideado diferentes estrategias y protocolos para mitigar los impactos del cambio climático. Durante los últimos años, los expertos han manifestado la necesidad de limitar el aumento de la temperatura global y se han creado distintos tratados o acuerdos globales, que son los encargados de desarrollar las formas y conseguir los medios para poder alcanzar este objetivo, como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo objetivo es estabilizar las concentraciones de GEI; o el Acuerdo de París, que pretende limitar el calentamiento global. Se busca la reducción de las emisiones de GEI, la adaptación a los impactos del cambio climático y la financiación necesaria para ajustarse a estas medidas (Skea et al., 2022). La medida más destacada es la limitación de aumentar la temperatura antes de 2030 como máximo en 1,5°C; para finalmente conseguir cero emisiones netas en 2050 (UNFCCC, 2015).

Hay distintos tipos de GEI de origen antrópico, los principales que se encuentran en la atmósfera terrestre son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y gases halogenados (Benavides y León, 2007). El índice GWP (“Global Warming Potential”) mide el calor que absorbe cada tipo de GEI en la atmósfera, y permite equiparar los efectos sobre el calentamiento global de los distintos gases, utilizando como gas de referencia 1 tonelada de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>eq), que es el gas que más se emite a la atmósfera como resultado de las actividades antrópicas (United States Environmental Protection Agency, 2022).

En este contexto, el Gobierno de España ha creado la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, en la que se establece como objetivo reducir las emisiones de

GEI, hasta que se igualen mediante los procesos de captura de CO<sub>2</sub>, es decir, alcanzar una tasa neta de cero emisiones. Con este fin es fundamental conocer la dinámica de los flujos y almacenamiento de carbono en los distintos ecosistemas para entender en qué medida funcionan dichas capturas y compensaciones.

## 1.2. Ecosistemas terrestres como sumideros de carbono

Los ecosistemas marinos son los principales reservorios de carbono a nivel global, aunque los ecosistemas terrestres también juegan un papel fundamental en el balance de carbono. Se estima que los ecosistemas terrestres son capaces de absorber aproximadamente un 30% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> provocadas por las actividades antropogénicas (Friedlingstein *et al.*, 2022). Los océanos presentan un proceso denominado bomba de solubilidad, que consiste en el transporte de carbono inorgánico desde la atmósfera hasta el océano para equilibrar las concentraciones de CO<sub>2</sub>. A continuación, por la diferencia de temperatura existente entre la masa de agua inferior y la superior del océano, la más fría (superior) subduce dejando en contacto con la superficie una masa de agua pobre en CO<sub>2</sub>, lo que provoca una diferencia de concentraciones que tratará de igualarse. Además, hay una bomba biológica, que es la captura de CO<sub>2</sub> por los organismos autótrofos (Raven y Falkowski, 1999).

Por otro lado, los ecosistemas terrestres captan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera mediante la fotosíntesis. El CO<sub>2</sub> es almacenado en forma de biomasa vegetal (viva o muerta) y en la materia orgánica presente en los suelos. Luego, es devuelto a la atmósfera a través de la respiración, tanto de los organismos autótrofos como de organismos heterótrofos, así como por otros eventos extremos, por ejemplo, los incendios, donde una gran cantidad de materia orgánica se oxida de manera muy rápida. Debido a la diferencia de procesos para la captura de carbono que hay en los ecosistemas terrestres y en los océanos, los segundo presentan una mayor eficacia, ya que la bomba de solubilidad permite absorber una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> y su retorno a la atmósfera ocurre con menor frecuencia (Falkowski *et al.*, 2000).

La biomasa acumulada en los ecosistemas terrestres puede tener un balance positivo, es decir, cuando el flujo de carbono fijado es superior al emitido, los ecosistemas se consideran sumideros de carbono. Pero también hay ecosistemas que liberan más carbono del que fijan, estos son ecosistemas fuentes de carbono (Friedlingstein *et al.*, 2022). Se han estudiado como potenciales reservas de carbono los diferentes tipos de ecosistemas terrestres, como los humedales, la tundra, las praderas y los bosques, entre otros (European Environment Agency, 2022), pero en Canarias existen pocos estudios de este tipo. Un ejemplo, es la estimación de

carbono que capturan las dos especies dominantes del pinar canario, *Pinus canariensis*, y *P. radiata* estimada en 700 t/ha (Arévalo et al., 2013). Los suelos también son de gran importancia en el almacenamiento de carbono (2.500 Gt) (Friedlingstein *et al.*, 2022). Su contribución se ha estudiado en ecosistemas naturales y se ha puesto de manifiesto que la actividad microbiana del suelo no es constante, sino que su variabilidad provoca diferentes estados de descomposición de la materia, así como distintos grados de almacenamiento de carbono (Langley et al., 2009). Otros estudios muestran que puede haber influencia del tipo de vegetación, por ejemplo, el suelo del matorral alpino contiene más carbono que el de bosques alpinos (Panwar y Gupta, 2013). En definitiva, los ecosistemas terrestres participan de manera activa en la captura de carbono; por lo que su conservación y restauración suponen una manera efectiva de compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> y de mitigar los efectos del cambio climático (Dixon et al., 1994).

### 1.3. Mitigación en España

En España existe el Real Decreto 163/2014, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. Su objetivo es calcular las emisiones de GEI que producen las actividades de instituciones públicas o empresas privadas del país, y que estas calculen su huella de carbono de forma voluntaria con el fin de compensarla a través de proyectos de absorción de carbono en el territorio. A este programa se pueden adherir las empresas y organizaciones que lo deseen, siempre que haya una propuesta de compensación.

En el año 2021, habían inscritas 4.926 huellas de carbono pertenecientes a 2.057 organizaciones. En Canarias, hay inscritas un total de 83 huellas de carbono pertenecientes a 49 organizaciones (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2022). Durante el último año se han añadido 1.685 huellas de carbono nuevas (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2021), lo que supone un aumento que demuestra que las empresas están cada vez más comprometidas con la mitigación.

El programa de Registro de huella de carbono comenzó en 2014, y cada año se incorporan tanto nuevas empresas como nuevos proyectos para mitigar las emisiones de GEI. El informe del año 2021 refleja el aumento significativo en el último año en cuanto a inscripciones, superando los 100 proyectos. La Comunidad Autónoma que más proyectos tiene registrada es Galicia, seguida con bastante diferencia por Castilla y León, mientras que la Comunidad Autónoma de Canarias no posee ningún proyecto de absorción de carbono en desarrollo. En base a los datos del registro, la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> compensadas en el 2021 a nivel nacional mediante

este programa fue de 12.683 toneladas (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2022).

Un proyecto de absorción de carbono es aquel que produce un aumento en la capacidad de absorción de GEI por parte de los sumideros. En el Registro del MITECO estos proyectos se engloban en dos tipos. Frecuentemente se recurre a las repoblaciones con vegetación del entorno en la zona forestal para cambiar el uso del suelo, como puede ser de un suelo agrícola. Por otro lado, se recurre al restablecimiento de masas forestales en las zonas que han sufrido incendios (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2022).

Actualmente, en Canarias hay un plan denominado “Estrategia canaria de acción climática” del Gobierno de Canarias de enero de 2022 (Anta et al., 2022), cuyo objetivo es conseguir una sociedad climáticamente resiliente y neutra en 2040, con el fin de reducir la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático. Se propone reducir las emisiones de GEI de manera progresiva, a la vez que se aumenta la capacidad de absorción por los sumideros naturales de las islas, hasta que se alcance la tasa de emisiones neutra (Anta et al., 2022).

#### 1.4. Objetivos del proyecto “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono”

Debido a la necesidad de compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> se ha puesto de manifiesto la necesidad de conocer el *stock* o cantidad de carbono que contienen actualmente los distintos ecosistemas de Canarias; para ello es necesario estudiar los ecosistemas forestales, pero también los ecosistemas de matorral, que conforman gran parte de la vegetación de las islas y ocupan una superficie considerable de todo el archipiélago (12,6%) (del Arco, 2006). En ese contexto la Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial del Gobierno de Canarias estableció un convenio de investigación con el Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de La Laguna, para estimar la captura de carbono actual y potencial de los ecosistemas terrestres de Canarias.

Con anterioridad a dicho proyecto, la cantidad de biomasa aérea de diferentes especies de la laurisilva se estimó mediante el análisis dimensional de Whittaker y Marks (1975), y se obtuvieron datos para algunas especies de la isla de Tenerife (Fernández-Palacios et al., 1991). Años después, se estimó la biomasa aérea de las especies más características del bosque de laurisilva de Garajonay, creando ecuaciones alométricas para cada especie, lo que permitió que la estimación fuese mucho más fiable y precisa (Aboal et al., 2005).



Ya en el contexto de este proyecto, haciendo uso de las ecuaciones alométricas de la laurisilva de Canarias, recientemente se llevó a cabo un cálculo de la biomasa en las islas de La Gomera, Tenerife y La Palma, donde se encuentra la mejor representación de esta comunidad en el archipiélago. El primer objetivo era conocer la biomasa total que hay actualmente en los bosques de laurisilva de estas islas, así como la captura de carbono potencial de estos bosques en la madurez. Los resultados arrojaron que un bosque de laurisilva madura, como el del Parque Nacional de Garajonay en La Gomera, acumulan mayor cantidad de carbono en la biomasa aérea (191,1 t/ha) que los bosques presentes en Tenerife (12,2 t/ha) y en La Palma (122,7 t/ha), los cuales han sido explotados hasta hace relativamente poco, por lo que se trata de bosques inmaduros (Otto, 2021).

Dentro de este proyecto también se llevó a cabo el estudio de la biomasa viva de los pinares naturales y las plantaciones de pinar de las islas de Tenerife, El Hierro, La Gomera y La Palma; además de analizar la captura de carbono anual mediante los puntos inventariados del Inventario Forestal Nacional. Como resultado, se obtuvo que tanto los pinares como las plantaciones de pino juegan un papel importante en la fijación de carbono. En cuanto a los pinares naturales, en la isla de El Hierro se encuentra almacenada una mayor cantidad de carbono (350 t/ha), posiblemente por su estado de conservación, así como por la diversidad climatológica de los pinares que hay en La Palma y Tenerife. Respecto a las plantaciones, las que están presentes en la isla de Tenerife son las más densas y desarrolladas. Tanto en plantaciones como en pinar natural existe un crecimiento positivo de captura de carbono en los últimos años (Otto, 2021).

Debido a la importancia de los ecosistemas de matorral y a su potencial como sumideros de carbono, en la Península Ibérica se han estudiado las comunidades vegetales y especies más representativas de dichos ecosistemas y se han elaborado ecuaciones alométricas para estimar su biomasa (Pasalodos et al., 2015). Sin embargo, los matorrales de Canarias no han sido estudiados y se desconoce completamente su contribución a la captura de carbono. Una primera aproximación de estos ecosistemas se ha llevado a cabo con un estudio de la estimación del almacenamiento de carbono de dos especies invasoras, *Opuntia dillenii* y *O. maxima*, en la isla de Tenerife, con el objetivo de medir la huella de carbono que supondría la eliminación de estas plantas dado su carácter invasor (Rocafull, 2021). Teniendo en cuenta la extensa distribución de las comunidades de matorral en Canarias y su valor ecológico, la conservación y restauración de estos ecosistemas es clave en el mantenimiento de la biodiversidad, por lo que conocer el contenido de carbono que almacenan es esencial para su gestión.

Por estos motivos, este proyecto pretende estimar la biomasa aérea presente en los ecosistemas de matorral en Canarias y su contribución en la compensación de la huella de carbono del archipiélago. Realizada la primera fase del proyecto “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono” en la que se calculó el contenido en carbono de los principales ecosistemas forestales de Canarias (laurisilva y el pinar), el siguiente objetivo es la cuantificación de la biomasa aérea presente en los principales ecosistemas de matorral, tanto maduros (costa y cumbre), como secundarios (medianías). Para ello se estudiarán las especies arbustivas de las islas con mayor importancia en cuanto a su cobertura. De esta selección de especies más abundantes, tanto arbóreas como arbustivas, el proyecto también pretende estudiar sus tasas anuales de asimilación neta máxima de carbono bajo diferentes condiciones ambientales.

En este trabajo en particular se estimará el contenido de carbono de la tabaiba dulce (*Euphorbia balsamifera*), especie dominante del tabaibal dulce, y su contribución al carbono almacenado en esta comunidad. Se desarrollará además una ecuación alométrica para la especie que permitirá estimar la biomasa aérea de otros individuos sin necesidad de aplicar un método destructivo.

### 1.5. Matorral costero

El matorral costero de Canarias está dominado por especies del género *Euphorbia*, tabaibas y cardones, acompañados de numerosas especies arbustivas como *E. canariensis*, *Ceropegia fusca*, *Schizogyne sericea*, o *Plocama pendula*. El tabaibal dulce resiste mejor que el cardonal a la sequía, por lo que se distribuye más cerca de la costa y es más abundante en las zonas áridas de las islas, y por ello se ha visto gravemente afectado por el desarrollo de infraestructuras urbanas y turísticas en las últimas décadas (del Arco, 2006; Otto et al., 2007). Actualmente, el tabaibal dulce de Canarias ocupa un total de 32.894 ha, siendo su distribución potencial de 344.278 ha (del Arco et al., 2010).

En este trabajo se ha muestreado el tabaibal dulce de la isla de Tenerife. Su área de distribución se extiende por la zona sur, sureste y suroeste de Tenerife, llegando hasta más de 300 metros de altitud. En la zona norte de la isla su distribución es bastante más reducida y se restringe a acantilados, terrenos abruptos y con mucha pendiente (del Arco, 2006). El tabaibal dulce se desarrolla en el infra y termo-mediterráneo, es decir, a altitudes muy bajas; además, domina en las zonas áridas e hiperáridas, siendo más abundante en la vertiente sotavento (del Arco et al., 2010).

Debido a su localización, esta formación vegetal se ha visto afectada históricamente por las actividades agrícolas, sobre todo recientemente por la agricultura intensiva y el desarrollo del turismo masivo. Se han creado distintos espacios naturales protegidos para favorecer la conservación de estos ecosistemas, pero esta herramienta de gestión no es suficiente para su restauración (Otto, 2007). La recuperación de los ecosistemas como el tabaibal dulce se ve dificultada por las características áridas de la zona sur de Tenerife, que favorecen a las especies exóticas, siendo estas mucho más abundantes en ambientes degradados, como son los terrenos de cultivo abandonados, que en las zonas mejor conservadas de esta formación vegetal (Otto, 2006).

## 2. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo estimar la biomasa y contenido de carbono que acumula la tabaiba dulce, *Euphorbia balsamifera*, una de las especies más importantes del matorral costero canario. Los resultados permitirán incluir los matorrales de tabaibal dulce como comunidad de interés para compensar la huella de carbono mediante restauración ecológica o mantenimiento y conservación de los mismos.

Los objetivos específicos de este proyecto son:

1. Estimar la cobertura de *E. balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce de Tenerife.
2. Estimar la biomasa aérea y contenido de carbono de los individuos de *E. balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce de Tenerife.
3. Desarrollar una ecuación alométrica que permita estimar la biomasa aérea de individuos de *E. balsamifera* mediante la toma de datos morfométricos sencillos sin necesidad de utilizar métodos destructivos.
4. Estimar la contribución de carbono almacenado por *E. balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce de Tenerife.

## 3. Material y método

### 3.1. Área de estudio

Este estudio se ha llevado a cabo en la isla de Tenerife, donde la comunidad vegetal de tabaibal dulce está ampliamente distribuida, suponiendo cerca de un 13% de los matorrales de la isla. Los tabaibales dulces muestreados se incluyen dentro de la red de Espacios Naturales Protegidos de Canarias.

La isla se ha muestreado seleccionando parches de tabaibal dulce en buen estado de conservación, principalmente en la vertiente sur de la isla, donde está mejor representado, y con una altitud de entre 10 y 300 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente. Los puntos donde se establecieron las parcelas para el muestreo de cobertura y biomasa de la especie se eligieron intentando abarcar toda la distribución de la comunidad de tabaibal dulce según el Mapa de vegetación actual de Canarias (del Arco, 2006).

### 3.2. Distribución y cobertura del tabaibal dulce

La distribución actual del tabaibal dulce en la isla de Tenerife abarca, aproximadamente, 10.500 hectáreas (del Arco, 2006). La cobertura de *E. balsamifera* en el tabaibal dulce tinerfeño se estudió mediante la instalación de 9 parcelas de 20 x 20 m en distintas localizaciones de la isla (Tabla 1):

Tabla 1: Espacios muestreados para la cobertura de *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de Tenerife.

<b>Localización de parcelas muestreadas</b>
Sitio de Interés Científico del Tabaibal del Porís
Sitio de Interés Científico del Acantilado de La Hondura
Monumento Natural de Montaña Pelada
Monumento Natural de Montaña de Ifara
Monumento Natural de La Caldera del Rey
La Barranquera
Sitio de Interés Científico de La Caleta
Monumento Natural de La Montaña de Guaza
El Escobonal

Además, se incorporaron los datos de tres parcelas adicionales, previamente muestreadas por el grupo de investigación que se localizan en: la Reserva Natural Especial Malpaís de Güímar, el Parque Rural de Teno y la Reserva Natural Especial Malpaís de la Rasca (Figura 1).

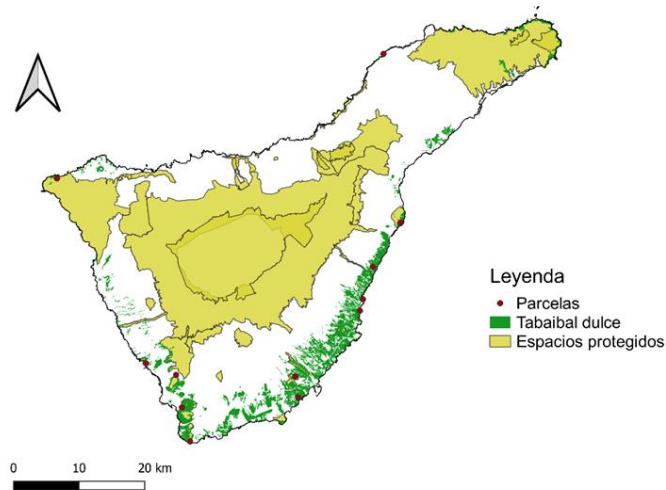


Figura 1: Mapa de distribución de las parcelas de muestreo en Tenerife.

En cada una de las parcelas (Figura 2) se realizó un inventario de los individuos presentes, tomando las siguientes medidas para cada planta: altura, diámetro más largo y el perpendicular a este, diámetro basal (cuando fuese posible), vitalidad (en una escala de 0 a 5, siendo 0 un individuo muerto y 5 un individuo totalmente sano) y fenología (si el individuo presentaba hojas, frutos y/o flores). Con estos datos se estimó la cobertura de *E. balsamifera* en el tabaibal dulce tinerfeño, para estimar el carbono acumulado por esta especie en el tabaibal dulce de Tenerife.



Figura 2: Ejemplo de parcela con bordes delimitados, El Escobonal (Tenerife, Canarias).

### 3.3. Tabaiba dulce

La especie objeto de estudio es la tabaiba dulce, *Euphorbia balsamifera*, que pertenece a la familia Euphorbiaceae, familia de los cardones y las tabaibas. Una de las características más comunes de la familia es que presenta un látex lechoso (Bramwell y Bramwell, 2001; Biota, 2022). En cuanto a su morfología, tiene un tallo muy ramificado desde la base, es un arbusto

con tallos de color gris, las hojas toman una forma arrosetada en la parte final de las ramas, son de color verde, obtusas en la base y agudas en el ápice, y producen un solo fruto en el extremo de la rama (Bramwell y Bramwell, 2001).

La especie se distribuye en todas las islas de Canarias, principalmente en regiones costeras. Se trata de la especie que caracteriza la comunidad de tabaibal dulce. También tiene facies en la comunidad de cardonal, se puede encontrar en el tabaibal de tolda (*E. aphylla*) y a veces también en el tabaibal amargo (*E. lamarckii* o *E. regis-jubae*) (del Arco, 2006).

### 3.4. Cálculo de la biomasa de *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de Tenerife

Una vez se conoce la cobertura de *E. balsamifera* en el tabaibal dulce tinerfeño, se necesita cuantificar la biomasa de varios individuos, a partir de los cuáles se estimará la biomasa y carbono que hay acumulados en el tabaibal dulce de la isla.

#### 3.4.1. Cuantificación de la biomasa de individuos de *Euphorbia balsamifera*

Para considerar la máxima variabilidad posible de la especie dentro de la comunidad, se midió la biomasa de individuos con características morfológicas diversas, como individuos rastreros, arborescentes, más o menos frondosos, y en localizaciones diversas. Algunos de los ejemplares analizados presentan un diámetro mayor de menos de un metro, mientras que los individuos de mayor tamaño poseen diámetros próximos a los 4 metros; en cuanto a su altura, los individuos muestreados varían desde tamaños inferiores a 1 metro hasta más de 2 metros.

Se muestrearon 17 individuos y los datos de otros 10 individuos más fueron obtenidos de trabajos previos realizados por el grupo de investigación (Otto et al., 2001) (Figura 3).

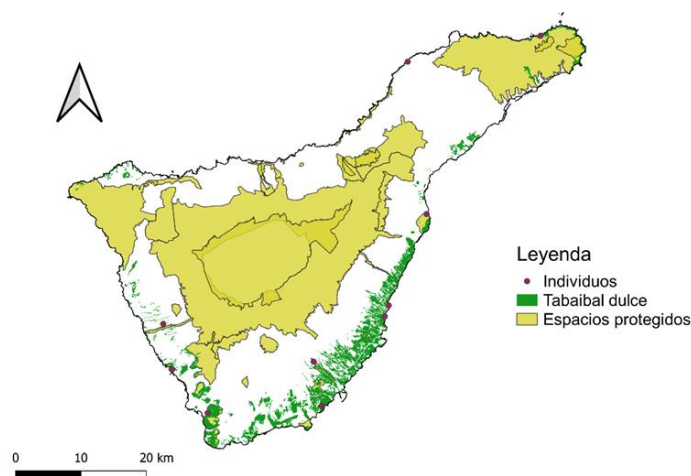


Figura 3: Mapa con las localizaciones de individuos de *Euphorbia balsamifera* muestreados en Tenerife.

De cada individuo se registró la altura, su diámetro mayor y el perpendicular a este. Debido a la morfología de esta especie (con un tallo muy ramificado desde la base), no se pudo tomar datos del diámetro basal del tallo en ninguno de los individuos. La elección de estos datos se debe a que son los mejores estimadores de biomasa para especies arbustivas con morfologías similares a las de *E. balsamifera* (Hoover, 2008).

Una vez registrados los datos biométricos, se cortó el individuo entero desde su base, salvo en individuos muy grandes, donde se cortó aproximadamente la mitad del individuo. La biomasa se pesó en campo para conocer su peso fresco (Figura 4). De todos los individuos se tomó una muestra representativa de entre 5 y 10 kg para llevarla al laboratorio, secarla y determinar el contenido hídrico de la especie.



Figura 4: Corte de un individuo de *Euphorbia balsamifera* en Tenerife.

En el laboratorio se secó la muestra del individuo en la estufa a 60°C (Figura 5). Se llevó a cabo un seguimiento periódico del secado de las muestras hasta obtener peso constante, indicando que las muestras dejan de perder agua, y se obtuvo el peso de la biomasa seca.



Figura 5: Secado y pesado de las muestras de *Euphorbia balsamifera*.

Con el fin de conocer la relación de peso existente entre el leño y las hojas de la tabaiba dulce, así como la diferencia en sus porcentajes hídricos, tres individuos fueron deshojados enteros. Todas las hojas se pesaron en fresco y se secaron en el laboratorio. Una vez secos, tanto el leño como las hojas, se calculó el porcentaje hídrico de cada componente por separado. A partir de los resultados de biomasa seca se estimó el porcentaje medio de biomasa que acumulan las hojas y el leño de cada individuo.

#### 3.4.2. Estimación de la biomasa aérea almacenada por *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce tinerfeño.

La biomasa total de *E. balsamifera* presente en la comunidad de tabaibal dulce en Tenerife se estimó mediante dos métodos distintos. Conociendo los datos de biomasa seca de cada individuo y sus datos volumétricos, se calculó el promedio de la biomasa de la especie por unidad de superficie ( $m^2$ ) en el tabaibal dulce. Además, se calculó la cobertura de la especie en la comunidad a partir de los datos de cobertura de los individuos en las parcelas muestreadas. El porcentaje medio de cobertura de *E. balsamifera* calculado a partir del muestreo de las parcelas se extrapoló a la distribución total del tabaibal dulce de Tenerife, obteniendo la superficie ocupada exclusivamente por la especie a partir del Mapa de vegetación de Canarias (del Arco et al. 2006). Multiplicando el área de ocupación por los datos de biomasa/ $m^2$ , se obtuvo la cantidad de biomasa de *E. balsamifera* presente en la isla de Tenerife.

El segundo método para calcular la biomasa acumulada por la especie se basó en la ecuación alométrica desarrollada en este trabajo. Se aplicó la ecuación alométrica a todas las tabaibas medidas en las parcelas y se obtuvo la biomasa media de las especies presente en  $400 m^2$  de tabaibal dulce. Este dato se extrapoló a las hectáreas de tabaibal dulce de Tenerife.

#### 3.5. Desarrollo de la ecuación alométrica

Una ecuación alométrica permite predecir la biomasa de una planta a partir de características biométricas como la altura, el diámetro medio o derivados de este, que son fáciles de medir en campo. A partir de la biomasa media de una especie se calcula el carbono acumulado, generalmente considerado como el 50% de la biomasa media (Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2019).

Los datos de biomasa seca junto con los datos biométricos de cada individuo nos permitieron desarrollar la ecuación alométrica de *E. balsamifera*. Para ello, se utilizó el software libre RStudio v.4.2.0 (R Core Team, 2022). Se utilizaron diferentes paquetes de R para organizar y explorar los, en concreto “tidyverse” (Wickham et al., 2019) para organizar los datos y “psych”



(Revelle, 2015) para comprobar la correlación entre a las variables mediante correlaciones de Pearson.

Primero, se llevó a cabo el test de Grubbs para detectar la presencia de datos atípicos (“outliers”) en el conjunto de datos mediante el paquete “outliers” (Komsta, 2011). Esta prueba estadística permite detectar un valor anormalmente grande o pequeño (Willerman et al., 1991).

Para desarrollar la ecuación alométrica de *E. balsamifera* se probaron diferentes modelos, ecuaciones de regresión lineal simple, regresión polinómica de segundo grado y regresión lineal múltiple, utilizando la función “lm”, de R. Se comprobó que se cumplían los requisitos de normalidad de residuos y homocedasticidad con la función base “plot”. Al no cumplir estas premisas se procedió a una transformación de raíz cuadrada de la variable respuesta.

En los modelos de regresión lineal múltiple se comprobó la multicolinealidad de las variables mediante el factor de inflación de la varianza (VIF), la media del VIF y la tolerancia (1/VIF) utilizando el paquete “car” (Fox y Weisberg, 2019) con las siguientes condiciones:

- Si el VIF más alto es mayor que 10, indica la presencia de multicolinealidad (Bowerman y O’Connell, 1990; Myers, 1990).
- Si el promedio de VIF es sustancialmente mayor que 1, la regresión puede estar sesgada (Bowerman y O’Connell, 1990).
- Un valor de tolerancia inferior a 0,1 indica la existencia de multicolinealidad.
- Un valor de tolerancia inferior a 0,2 indica la existencia potencial de multicolinealidad (Menard, 1995).

Una vez seleccionado el modelo final de la ecuación con el comando “ggplot” del paquete “tidyverse” obtuvimos la gráfica de la ecuación.

## 4. Resultados

### 4.1. Cobertura de *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce tinerfeño

La cobertura de *E. balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce es aproximadamente  $36 \pm 14\%$ , lo que corresponde a  $143 \text{ m}^2$  de cobertura media en las parcelas muestreadas. En la figura 6, se muestra el porcentaje correspondiente a cobertura vegetal de la parcela, es decir incluyendo tanto a *E. balsamifera* como a otras especies de la comunidad; y el porcentaje de cobertura exclusivamente de *E. balsamifera* con respecto a la superficie total de la parcela ( $400 \text{ m}^2$ ). Se estimó que la cobertura de la especie en la comunidad de tabaibal dulce tinerfeño,

considerando su superficie en base al Mapa de vegetación de Canarias (del Arco et al. 2006), asciende a 3.755,53 hectáreas.

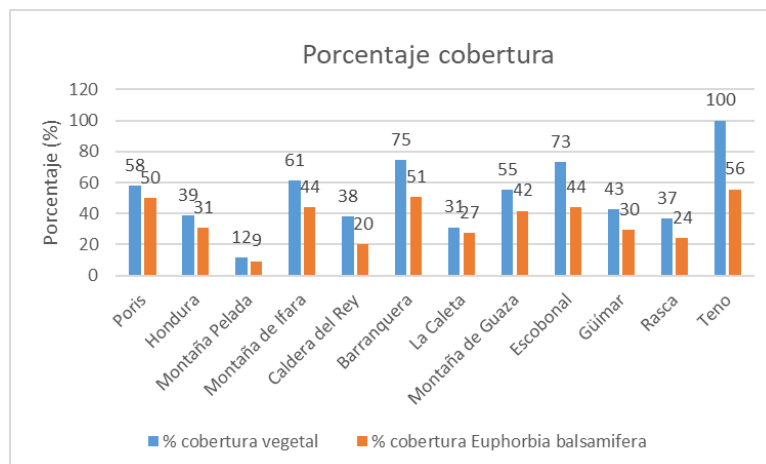


Figura 6: En azul el porcentaje de cobertura vegetal (incluyendo *Euphorbia balsamifera* y otras especies de la comunidad) en distintas localidades de tabaibal dulce en Tenerife. En naranja el porcentaje de la superficie de la parcela (400 m<sup>2</sup>) ocupado por *Euphorbia balsamifera* en cada localidad.

El porcentaje medio de cobertura de *E. balsamifera* en relación a la cobertura vegetal total de las parcelas muestreadas asciende a un  $70 \pm 13\%$  (figura 7), siendo la especie dominante de la comunidad.

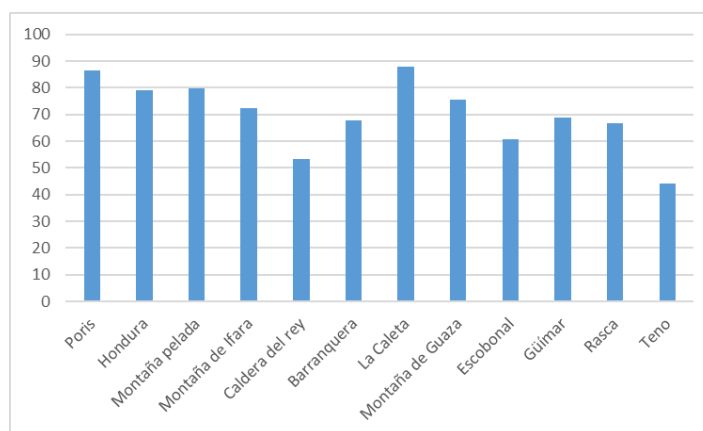


Figura 7: Porcentaje de cobertura de *Euphorbia balsamifera* en relación a la cobertura vegetal total de la parcela en distintas localidades de tabaibal dulce Tenerife.

#### 4.2. Cuantificación de la biomasa de *Euphorbia balsamifera*

El porcentaje de contenido hídrico de los individuos de *E. balsamifera* oscila entre 65 y 87% (Tabla 2).

Tabla 2: Porcentaje de contenido hídrico de *Euphorbia balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce en Tenerife.

Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Individuos
65,01%	86,76%	76,55%	4,48	27

Con los datos de biomasa seca de cada individuo, se calculó que el promedio de biomasa de *E. balsamifera* en Tenerife es de  $1,44 \pm 1,01 \text{ kg/m}^2$ .

Tabla 3: Biomasa y cobertura vegetal de *Euphorbia balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce en Tenerife.

Código	Biomasa fresca (kg)	Biomasa seca (kg)	Cobertura (m <sup>2</sup> )	Biomasa seca / superficie (kg/m <sup>2</sup> )
1	36,14	10,38	4,87	2,13
2	25,41	6,04	3,77	1,60
3	86,30	20,87	9,46	2,21
4	23,22	5,45	3,63	1,50
5	12,27	2,67	1,43	1,87
6	17,99	3,63	2,45	1,48
7	7,12	1,87	1,64	1,14
8	47,91	11,64	8,07	1,44
9	136,01	47,59	8,04	5,92
10	17,34	4,65	2,62	1,78
11	39,96	9,50	5,60	1,70
12	25,44	6,36	3,82	1,67
13	0,86	0,21	0,20	1,04
14	0,81	0,21	0,21	0,97
15	0,11	0,03	0,05	0,53
16	0,09	0,03	0,04	0,70
17	0,04	0,01	0,01	0,79
18	0,99	0,23	0,50	0,46
19	7,55	1,61	1,65	0,98
20	6,71	0,89	1,13	0,79
21	16,64	4,14	3,14	1,32
22	10,73	2,80	2,69	1,04
23	6,25	1,30	0,99	1,32
24	25,50	5,23	3,21	1,63
25	41,75	8,48	5,85	1,45

26	1,03	0,20	0,29	0,70
27	3,23	0,69	0,88	0,78

#### 4.2.1. Biomasa y contenido hídrico de hojas y leño

En tres individuos se calculó el contenido hídrico de las hojas y el leño por separado. En promedio, el porcentaje hídrico del leño es  $73 \pm 3\%$  y el de las hojas  $80 \pm 1\%$ .

En este caso se secaron en el laboratorio todas las hojas, por lo que se puede conocer la proporción del peso seco del individuo que corresponde a leño y a hojas (figura 8). En promedio, las hojas corresponden al  $4 \pm 1\%$  y el leño al  $96 \pm 1\%$  del peso de cada individuo.

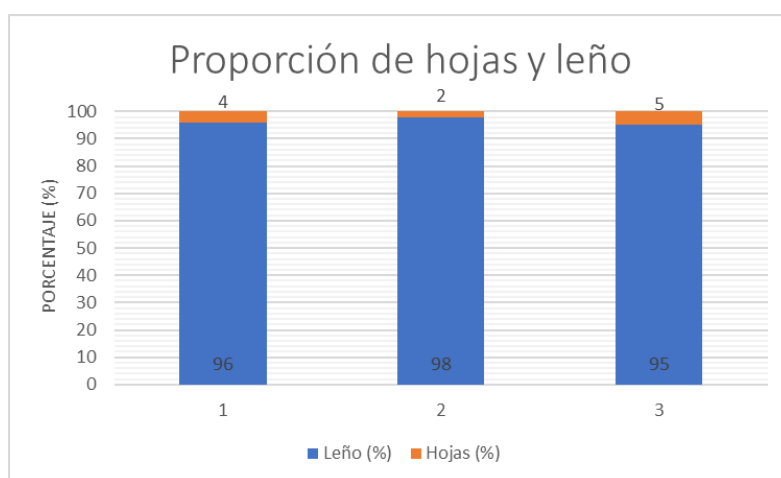


Figura 8: Proporción de peso seco de hojas y leño en individuos de *Euphorbia balsamifera* del tabaibal dulce de Tenerife.

#### 4.3. Datos biométricos para la ecuación alométrica

En la Tabla 5 se muestran los datos biovolumétricos de los 27 individuos cortados y que se utilizaron para la elaboración de la ecuación alométrica.

Tabla 5: Datos biovolumétricos medidos para desarrollar la ecuación alométrica de *Euphorbia balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce de Tenerife.

Código	Diámetro medio (m)	Altura (m)	Área proyectada (m <sup>2</sup> )	Biovolumen (m <sup>3</sup> )
1	2,49	0,95	4,87	4,63
2	2,19	0,63	3,77	2,37
3	3,47	1,18	9,46	11,16
4	2,15	1,12	3,63	4,07
5	1,35	0,78	1,43	1,12
6	1,77	0,96	2,45	2,35
7	1,45	0,93	1,64	1,53

8	3,21	2,23	8,07	17,99
9	3,20	1,80	8,04	14,48
10	1,83	0,67	2,62	1,75
11	2,67	1,08	5,60	6,05
12	2,21	1,12	3,82	4,28
13	0,51	0,34	0,20	0,07
14	0,52	0,18	0,21	0,04
15	0,25	0,24	0,05	0,01
16	0,23	0,20	0,04	0,01
17	0,09	0,16	0,01	0,00
18	0,80	0,50	0,50	0,25
19	1,45	0,66	1,65	1,09
20	1,20	0,65	1,13	0,74
21	2,00	0,90	3,14	2,83
22	1,85	0,85	2,69	2,28
23	1,12	0,80	0,99	0,79
24	2,02	1,10	3,21	3,53
25	2,73	1,10	5,85	6,44
26	0,61	0,48	0,29	0,14
27	1,06	0,51	0,88	0,45

#### 4.4. Desarrollo de la ecuación alométrica

##### 4.4.1. Detección de datos atípicos

Durante el análisis de datos se detectó un posible dato atípico (“outlier”), que se confirmó con el test de Grubbs (función “grubbs.test”), (con un  $p < 0,05$ ). El individuo atípico (9) teniendo un biovolumen similar a otros individuos, presentó un contenido hídrico mucho menor (65%) al resto, que superan el 70%, siendo su biomasa seca mucho mayor. Por tanto, este dato no se tuvo en cuenta para desarrollar la ecuación alométrica. En la figura 9, se observa de manera gráfica el dato atípico. Este dato atípico nos indica que la variabilidad de la biomasa seca puede depender de distintos factores que condicionan el crecimiento de la especie, por lo que es

necesario aumentar el número de individuos muestreados, haciendo hincapié en individuos con tamaños superiores a los rangos estudiados.

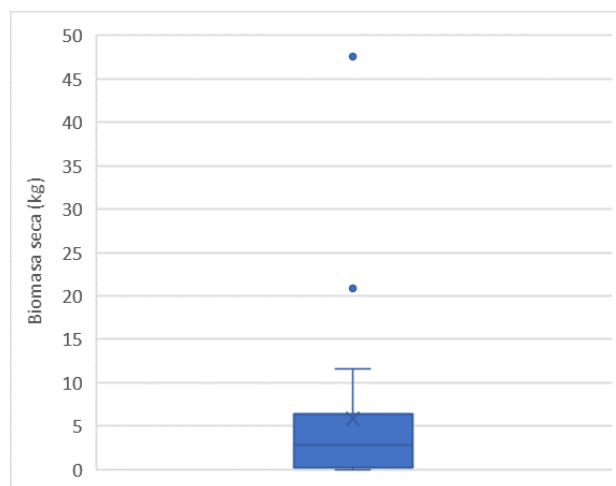


Figura 9: Biomasa seca de los individuos de *Euphorbia balsamifera* muestreados en el tabaibal dulce de Tenerife.

#### 4.4.2. Ecuación alométrica de *Euphorbia balsamifera*

La ecuación alométrica para estimar la biomasa seca se desarrolló con 26 individuos. Los modelos testados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Modelos de ecuación alométrica para la estimación de la biomasa seca de *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de Tenerife.

Modelos regresión lineal simple		
Variable independiente	R <sup>2</sup>	p - valor
Área proyectada	0,94	< 0,01
Diámetro medio	0,81	< 0,01
Altura	0,50	< 0,01
Biovolumen	0,70	< 0,01
Modelos regresión polinómica de segundo grado		
Área proyectada	0,95	< 0,01
Diámetro medio	0,95	< 0,01
Altura	0,51	< 0,01
Biovolumen	0,88	< 0,01
Modelos regresión lineal múltiple		
Variáveis independientes e interacción	R <sup>2</sup> ajustado	p - valor
Área proyectada * Altura	0,96	< 0,01

Diámetro medio * Altura	0,91	< 0,01
Área proyectada + Altura	0,96	< 0,01
Diámetro medio + Altura	0,81	< 0,01

Los modelos de interacción que incluyen las variables “Área proyectada” y “Altura” presentan un  $R^2$  ajustado de 0,96 aunque, debido a la multicolinealidad de ambas variables que muestra el estadístico VIF, ambos modelos fueron rechazados. Los siguientes modelos con un  $R^2$  más altos son los cuadráticos con las variables “Diámetro medio” y “Área proyectada”. Se eligió el modelo con el diámetro medio, ya que su cálculo es más sencillo.

Analizando los residuos del modelo cuadrático con la variable diámetro medio, se observa la posibilidad de que requiera una transformación de los datos para una mejor estimación. La transformación se realizó mediante el comando “sqrt”, que corresponde con la raíz cuadrada de la variable dependiente. Por lo que finalmente la ecuación seleccionada como óptima para estimar la biomasa seca de *E. balsamifera* es:

$$\sqrt{\text{Biomasa seca}} = 0,104 * \text{Diámetro medio}^2 + 0,901 * \text{Diámetro medio} - 0,085$$

Este modelo tiene un  $R^2$  de 0,97 y un p-valor <0,01 (figura 10).

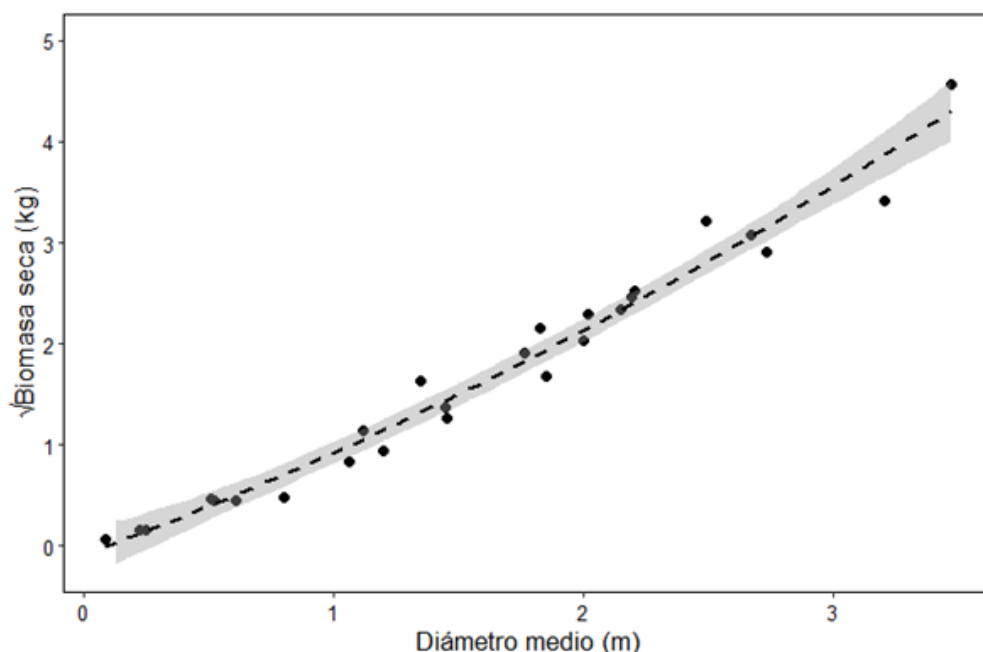


Figura 10: Gráfica de la ecuación alométrica para la estimación de biomasa seca de *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de Tenerife.

Los residuos del modelo cumplen los criterios de normalidad y homocedasticidad (figura 11).

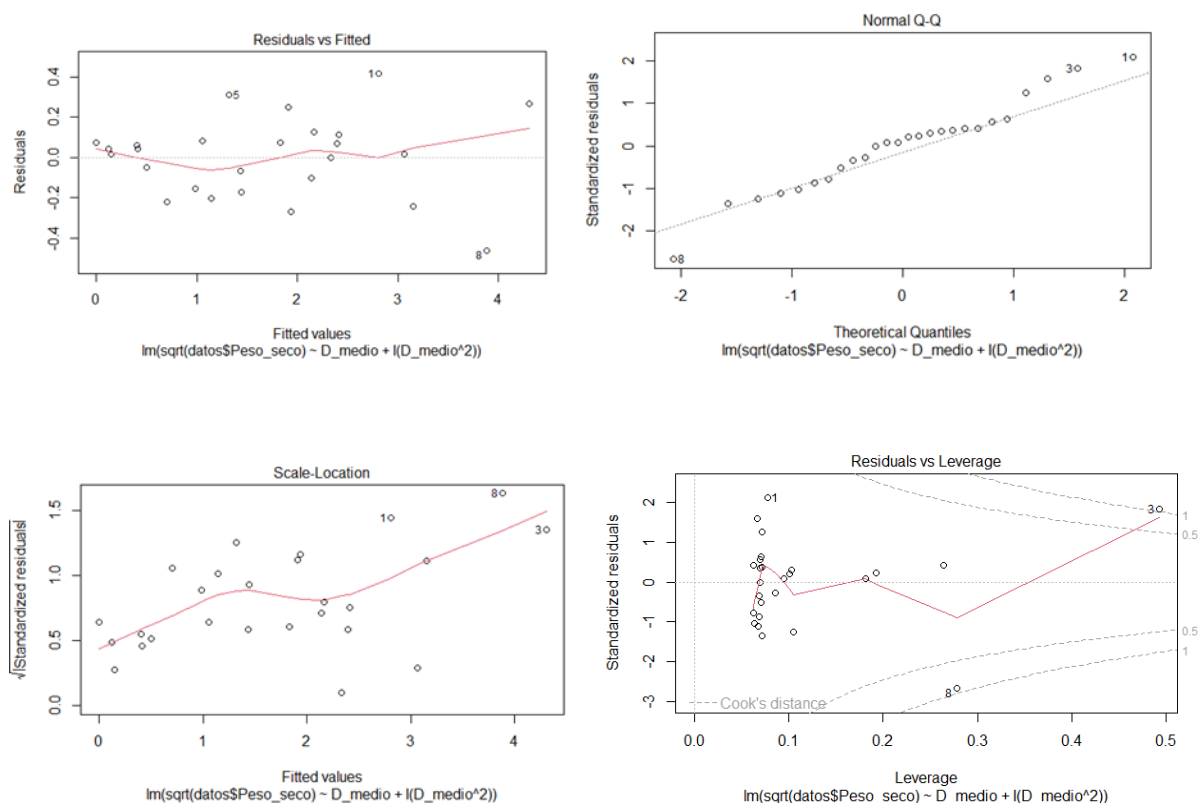


Figura 11: Residuos del modelo elegido para la ecuación alométrica de *Euphorbia balsamifera*. El primer gráfico muestra los residuos frente a los valores ajustados. El segundo gráfico la distribución de la probabilidad de una población. En el tercer gráfico muestra los residuos estandarizados frente a los valores ajustados. El cuarto gráfico muestra la distancia de Cook de los valores.

#### 4.5. Estimación de la biomasa y carbono almacenado por *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de Tenerife.

Estimamos la biomasa y el carbono almacenado mediante dos métodos distintos. Con el método 1, se basó en el cálculo de la biomasa media de *E. balsamifera* ( $1,44 \text{ kg/m}^2$ ) y la extrapolación teniendo en cuenta la superficie ocupada por la especie en el tabaibal dulce tinerfeño, estimando que la biomasa acumulada es de 54.043,2 toneladas, lo que equivale a 27.022, t de carbono. En el método 2, se aplicó la ecuación alométrica desarrollada en este estudio a todos los individuos de cada parcela obteniendo que, aproximadamente, se acumulan  $198 \pm 84 \text{ kg}$  de biomasa seca de tabaiba dulce por parcela, lo que supone  $0,50 \text{ kg/m}^2$ . Teniendo en cuenta la cobertura, se estimó que *E. balsamifera* contribuye con 52.098,75 t de biomasa en el tabaibal dulce tinerfeño, lo que supone 26.050 t de carbono. Ambos métodos estiman de manera similar la cantidad de carbono acumulada por la especie en el tabaibal dulce tinerfeño.



## 5. Discusión

### 5.1. Cobertura de *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce

La comunidad de tabaibal dulce está ampliamente distribuida en la isla de Tenerife (10.525 ha), estando presente en la actualidad desde el nivel del mar a los 500 m en ambas vertientes de la isla. Sin embargo, en la zona norte hay pocos parches de esta comunidad debido a las condiciones climáticas. El régimen de precipitaciones genera unas condiciones de mayor humedad, reduciendo la extensión de zonas áridas en esta vertiente, por lo que las tabaibas dulces se encuentran relegadas a zonas de terreno abrupto y acantilados. Parece haber diferencias sutiles entre las localidades del norte y del sur, puesto que la cobertura vegetal en el tabaibal dulce del norte es mayor, como se observa en las parcelas de Teno (100%) y La Barranquera (75%), frente a las localidades del sur, como el Acantilado de La Hondura (39%) y Montaña de Guaza (55%). Aun teniendo una mayor cobertura, como la distribución del tabaibal dulce en la zona norte es reducida, la contribución de cobertura en ambas vertientes se iguala. Las parcelas de este estudio se distribuyeron por toda la isla, pero especialmente en la zona sur, donde se ubicaron 10 de las 12 parcelas estudiadas.

El tabaibal dulce es una comunidad característica de zonas áridas e hiperáridas, por lo que abundan las especies suculentas como *E. balsamifera*, que requieren de una adaptación fisiológica a la sequedad y salinidad presente en los suelos tan cercanos a la costa (Mies et al., 1996). La cobertura de la especie en esta comunidad es relativamente baja (36%), puesto que la aridez y los factores de estrés típicos de los matorrales áridos limitan la abundancia de las plantas y su cobertura vegetal (Wang et al., 2020). Sin embargo, los resultados de la cobertura de la especie con respecto a la cobertura vegetal del tabaibal dulce (70%) indican de manera inequívoca que *E. balsamifera* es la especie dominante de la comunidad, por lo que es clave para estimar el carbono acumulado por la biomasa vegetal aérea en esta comunidad.

La comunidad presenta una distribución potencial en Tenerife de 32.300 ha, que actualmente se encuentra reducida al 33% (del Arco et al., 2010). El área de distribución de este matorral se ha visto reducida y fragmentada en las últimas décadas debido al aumento de las actividades turísticas y la presión urbanística (Otto et al., 2007), así como la expansión de especies exóticas, como *Opuntia spp.*, muy abundantes en el tabaibal dulce de Tenerife (5.687 ha) y que compiten por el espacio y los recursos con *E. balsamifera* (Rocafull, 2021). Estas amenazas pueden contribuir a la disminución de la cobertura de *E. balsamifera* en el futuro, como lo han venido haciendo hasta la fecha.

## 5.2. Contenido hídrico de *Euphorbia balsamifera*

*Euphorbia balsamifera* es una especie suculenta, que se caracteriza por tener un contenido hídrico alto. En este estudio se estimó que los individuos de *E. balsamifera*, poseen un contenido hídrico medio de 76,6%, coincidiendo con un estudio anterior llevado a cabo en zonas de matorral costero de Tenerife (Otto et al., 2001), que estimó un contenido hídrico del 78,8%. Además, para el conjunto de los individuos muestreados el contenido hídrico osciló entre 65 y 85%, indicando que independientemente de las diferentes morfologías y dimensiones de esta especie el contenido hídrico es elevado para la especie.

Si comparamos el contenido hídrico de *E. balsamifera* con el de otras especies del mismo género presentes en las islas Canarias, como *E. lamarckii* y *E. canariensis*, 73,8% y 90,1%, respectivamente (Otto et al., 2001), observamos que su contenido hídrico se asemeja al de la tabaiba amarga, cuya morfología es similar, pero es menor que el del cardón, que presenta una morfología distinta, con tallos muy suculentos. El contenido hídrico de otras especies de la comunidad, como *Plocama pendula* (57,8%) o *Schizogyne sericea* (61,7%) (Otto et al., 2001), es inferior al de *E. balsamifera*, ya que no son especies suculentas. Probablemente, *E. balsamifera* sea mucho más abundante, en cuanto a cobertura en el tabaibal dulce, debido a esta estrategia hídrica que le facilita hacer frente al estrés hídrico típico de la zona en la que se distribuye.

Por otro lado, se estudió el porcentaje hídrico de las hojas (81%) y el del leño (73%) y se comprobó que son muy similares, lo que nos indica que la estrategia hídrica de la planta consiste en almacenar grandes cantidades de agua en los tallos, no solo en las hojas. Esta especie se caracteriza porque pierde sus hojas en verano, para evitar perder agua por evotranspiración y combatir así el estrés hídrico durante el periodo estival. Es interesante saber que las hojas solo suponen un 4% de la biomasa de la planta, mientras que su parte leñosa constituye el 96%. De este modo, aunque los individuos pierdan todas sus hojas en verano, la estimación de biomasa acumulada en un individuo no se verá muy afectada. Este patrón de distribución de la biomasa se observa en otras especies del mismo género, como *E. tirucalli*, que es característica de regiones secas tropicales desde África hasta la India, y presenta una proporción de biomasa de hojas muy baja, entre un 2 y 3% de la planta (Van Damme, 2001).

## 5.3. Ecuación alométrica

La ecuación alométrica desarrollada para la estimación de la biomasa de *E. balsamifera* se basa en la variable diámetro medio, ya que este es el modelo que mejor predice la biomasa que hay

acumulada en la planta. Esta ecuación específica permite estimar la biomasa de individuos de *E. balsamifera* únicamente midiendo sus diámetros y sin tener que hacer uso de métodos destructivos. Esta ecuación tiene una fiabilidad muy alta, debido a su  $R^2$  (0,97), que indica que la mayor parte de la varianza de nuestra muestra queda explicada por el modelo.

En un estudio realizado en ecosistemas de matorral de Andalucía, se desarrollaron diferentes ecuaciones alométricas para distintas asociaciones, como áreas dominadas por *Quercus coccifera* o matorral de lentisco (*Pistacia lentiscus*). Para estimar la biomasa se utilizaron datos de biomasa seca, y las variables altura y fracción cubierta por dosel (Pasalodos-Tato et al., 2015). Otro estudio realizado para especies de tabaibal dulce de Canarias (Otto et al., 2001) desarrolló una ecuación alométrica utilizando la variable biovolumen. En este estudio se han utilizado los datos de Otto et al. (2001), pero también se ha incrementado el tamaño de la muestra para mejorar la estimación.

Durante el proceso de elaboración de la ecuación alométrica se observó la presencia de un dato atípico (“outlier”). Uno de los individuos muestreados, pese a tener un biovolumen similar al del resto, contó con una biomasa seca muy superior debido a que su contenido hídrico era inferior. Este dato corresponde con el de un individuo de grandes dimensiones, con un leño basal mucho más grueso que el de otros individuos muestreados. Esto puede indicar que se trata de un individuo de gran edad, ya que se encontraba en un tabaibal dulce bien conservado. Se descartó que dicho valor de biomasa seca tan elevado se debiese a las condiciones climáticas de la zona o a la época del año en que se muestreó, porque en la misma localidad se cortó otro individuo que no presentó diferencias significativas en cuanto a biomasa seca o contenido hídrico con el resto. Este dato atípico pone de manifiesto la posible presencia de individuos con estas características en el tabaibal dulce, que han de ser estudiados para un mejor ajuste de la ecuación alométrica, por ello, se requiere un aumento en las labores de muestreo haciendo hincapié en individuos en áreas de tabaibal dulce bien conservadas, de grandes dimensiones y en los que se pueda intuir su mayor edad.

*Euphorbia balsamifera* es una especie nativa, dominante en una de las comunidades más extensas de matorral costero de Tenerife, por lo que conocer la cantidad de carbono que almacena puede ser útil para mitigar la huella de carbono de la isla.

La ecuación alométrica desarrollada en este estudio aportará información valiosa para la gestión de comunidades costeras, así como en evaluaciones de impacto ambiental puesto que, al constituir el 70% de la comunidad de tabaibal dulce, *E. balsamifera* es, probablemente, la

principal especie reservorio de carbono. Todo esto facilita la cuantificación del carbono que la comunidad es capaz de almacenar y aporta información preliminar sobre cómo puede contribuir el tabaibal dulce en la mitigación de la huella de carbono mediante futuros proyectos de restauración.

#### 5.4. Estimación de la biomasa y del carbono acumulado.

Se estimó que *E. balsamifera* acumula 1,44 kg/m<sup>2</sup> de biomasa, lo que coincide con la del estudio ya realizado en Tenerife (Otto et al., 2001), para el matorral costero. En dicho estudio también se estima la biomasa de *E. canariensis*, que es muy superior a la de *E. balsamifera* (4,8 kg/m<sup>2</sup>), mientras que *E. lamarckii*, (0,8 kg/m<sup>2</sup>), acumula menos cantidad de biomasa por unidad de superficie que *E. balsamifera*.

Para estimar la biomasa y el carbono de *E. balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce se utilizaron dos métodos. En el primer método se utilizó la biomasa acumulada por unidad de superficie de *E. balsamifera* y se extrapoló a toda el área de tabaibal dulce ocupada exclusivamente por la especie. En el segundo método se desarrolló una ecuación alométrica para la especie, que fue aplicada a todos los individuos muestreados en las parcelas. El resultado de biomasa acumulada fue de 54.043 t y 52.099 t, para cada método, respectivamente. Ambos métodos estiman de manera similar la biomasa acumulada, pero la ecuación alométrica permite estimarla de manera más, ya que se ajusta mejor a la variabilidad que puedan presentar los individuos de la especie en toda el área de distribución de su comunidad.

Teniendo en cuenta la coincidencia de ambos resultados, podemos concluir que la ecuación alométrica desarrollada es precisa para la estimación de la biomasa y carbono que acumula *E. balsamifera* en el tabaibal dulce tinerfeño. Usando esta ecuación no solo se podrá estimar el carbono y la biomasa de esta especie en la comunidad de Tenerife, sino también en otras islas. Se evitarán así los métodos destructivos, y se ahorrará mucho esfuerzo en la toma de muestras en el campo y el procesado de la biomasa en el laboratorio.

En el contexto del proyecto “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono” se ha estudiado el carbono almacenado en la laurisilva y el pinar de La Gomera, Tenerife, La Palma y El Hierro (en esta última solo de pinar). El tabaibal dulce de la isla de Tenerife aporta 4,95 t/ha, mientras que la laurisilva 256 t/ha y el pinar 121 t/ha. Es decir, el ecosistema que supone el mayor almacén de carbono es la laurisilva, que pese a tener una menor extensión (2.760 ha) en la isla que el tabaibal dulce (10.525 ha), almacena 353.450 t de carbono (Otto, 2021), frente a las 26.050 t, según el modelo más preciso del

presente estudio para el tabaibal dulce. Aun así, es importante conocer este dato, ya que la extensión de esta comunidad en el archipiélago canario es de gran relevancia, suponiendo 32.894 ha, y su contribución a la mitigación de la huella de carbono, aunque sea menor, no debería ser despreciada.

Todos estos ecosistemas pueden ser utilizados como sumideros de carbono para poder alcanzar el objetivo de emisiones neutras propuesto por el Gobierno de Canarias a través del documento “Estrategias canaria de acción por el clima”. Actualmente en Canarias la mayor parte de las emisiones son originadas por el transporte. El transporte terrestre, en el año 2018, produjo unas 3.756 ktCO<sub>2</sub>eq, el marítimo 929 ktCO<sub>2</sub>eq y el aéreo 666 ktCO<sub>2</sub>eq. Las 26.050 t de carbono acumuladas por *E. balsamifera* en el tabaibal dulce de Tenerife suponen 95,6 ktCO<sub>2</sub>eq, un 14,4% de las emisiones anuales del transporte aéreo de Canarias, por lo que *E. balsamifera* en el tabaibal dulce de la isla no tiene la capacidad de mitigar la huella de carbono de estas actividades. Por ello, la estrategia busca disminuir progresivamente las emisiones, considerando las limitaciones de mitigar la huella de carbono únicamente mediante compensación. De cualquier manera, el tabaibal dulce actúa como sumidero de carbono y su destrucción y pérdida de distribución supondría un aumento de las emisiones de carbono a la atmósfera, además de una grave pérdida de biodiversidad endémica y nativa. El tabaibal dulce presenta el potencial para la captura de carbono, con las pertinentes medidas de gestión para su restauración y recuperación, que favorezcan un aumento de su superficie (Anta et al., 2022), alcanzando así un doble objetivo de conservación y mitigación.

## 6. Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son:

1. *Euphorbia balsamifera* representa el 70% de la superficie de tabaibal dulce en la isla de Tenerife, lo que supone 3.755,53 ha, siendo la especie dominante de esta comunidad.
2. *Euphorbia balsamifera* presenta un alto contenido hídrico, 76,6% de su biomasa aérea, característico de plantas suculentas adaptadas a las zonas áridas. El contenido hídrico en las hojas y partes leñosas de la planta es muy similar.
3. Se estima que la biomasa aérea media de *Euphorbia balsamifera* es de 1,44 kg/m<sup>2</sup> en el tabaibal dulce de Tenerife. La mayor parte de la biomasa aérea se encuentra acumulada en la parte leñosa (96%), mientras que las hojas solo suponen un 4% de la biomasa por individuo.

4. La ecuación alométrica desarrollada para *Euphorbia balsamifera*, utiliza el diámetro medio de la planta como mejor estimador de la biomasa aérea seca.
5. Algunos individuos de *Euphorbia balsamifera* pueden contener más biomasa aérea de la esperada para su porte, posiblemente por ser ejemplares más antiguos, por lo que es necesario aumentar el tamaño muestral, incluyendo adultos de mayor tamaño, para desarrollar una ecuación alométrica con un mejor poder predictivo para individuos muy grandes.
6. La estimación de toneladas de carbono acumuladas por *Euphorbia balsamifera* en la comunidad de tabaibal dulce tinerfeño, es de 26.050 t, que equivalen a 95.603 tCO<sub>2</sub>eq.
7. La cuantificación del almacenamiento de carbono de los ecosistemas arbustivos canarios, considerando su amplia distribución, es crucial para desarrollar una estrategia de mitigación de la huella de carbono.

The conclusions of this project are:

1. *Euphorbia balsamifera* represents 70% of the sweet spurge scrub area on Tenerife, this is 3755.53 ha, being the dominant species in this community.
2. *Euphorbia balsamifera* shows a high water content, 76.6% of its aerial biomass, which is characteristic of succulent plants from arid areas. Water content on leaves and woody parts is very similar.
3. *Euphorbia balsamifera* average aerial biomass in the sweet spurge scrub of Tenerife is estimated in 1.44 kg/m<sup>2</sup>. Most of its aerial biomass is accumulated in its woody parts (96%) while leaves are only 4% of the individual biomass.
4. The allometric equation developed for *Euphorbia balsamifera* uses the average diameter as the best estimator of dry aerial biomass.
5. Some individuals of *Euphorbia balsamifera* can have a higher aerial biomass relative to its dimensions, possibly because they are old individuals, thus increasing the sampling size, adding bigger adults, will improve the predictive power of the equation for bigger individuals.
6. The estimation of carbon tons accumulated by *Euphorbia balsamifera* in the sweet spurge scrub of Tenerife, is 26.050 t, equivalent to 95.603 tCO<sub>2</sub>eq.
7. The quantification of the carbon stored in Canarian scrub communities, considering their wide distribution, is key to develop a strategy to mitigate the carbon footprint.

## 7. Referencias bibliográficas

- Aboal, J., Arévalo, J., y Fernández, Á. (2005). *Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands)*. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 200(3), 264-274.
- Anta, B., Pascual, A., González, B., Medina, D., González, E., et al. (2022). *Estrategia canaria de acción climática*. Gobierno de Canarias.
- Anthony, K. (2016). *Coral Reefs Under Climate Change and Ocean Acidification: Challenges and Opportunities for Management and Policy*. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 59-81.
- Arévalo, J., García-Fariña, G., Montes de Oca, Y., y Fernández-Lugo, S. (2013). *Differences in Carbon Sequestration in Native vs. Exotic Pine Species (Tenerife, Canary Islands)*. *Bulletin UASMV serie Agriculture*, 70(2), 299-303.
- Benavides Ballesteros, H., y León Aristizabal, G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático* (IDEAM-METEO/008-2007; Nota técnica del IDEAM, p. 99). IDEAM- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Biota (2022). *Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias*.  
<https://www.biodiversidadcanarias.es/biota/> Último acceso junio 2022.
- Bowerman, B., y O'Connell, R. (1990). *Linear Statistical Models* (T. Wadsworth, Ed.; 2.ª ed.).
- Bramwell, D., y Bramwell, Z. I. (2001). *Flores Silvestres de las Islas Canarias* (4. Aufl). Editorial Rueda.
- Del Arco Aguilar, M. (Ed.). (2006). *Mapa de vegetación de Canarias: Mapas, memoria general, CD-Rom* (1. ed). Grafcan Ed.
- Del Arco Aguilar, M., González-González, R., Garzón-Machado, V. y Pizarro-Hernández, B. (2010). *Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status*. *Biodiversity and Conservation*, 19(11), 3089-3140.
- Dixon, R., Solomon, A., Brown, S., Houghton, R., et al. (1994). *Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems*. *Science*, 263(5144), 185-190.
- European Environment Agency. (2022). *Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems*. Publications Office.
- Falkowski, P., Scholes, R., Boyle, E., Canadell, J., Canfield, D., et al. (2000). *The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System*. *Science*, 290 (5490), 291-296.
- Fernández-Palacios, J., García Esteban, J., López, R., y Luzardo, M. (1991). *Aproximación a la estima de la biomasa y producción primaria neta aéreas en una estación de la Laurisilva tinerfeña*. *Vieraea*, 20(11-20).
- Fox J, Weisberg S (2019). *An R Companion to Applied Regression*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.
- Friedlingstein, P., Jones, M., O'Sullivan, M., Andrew, R., Bakker, D., et al. (2022). *Global Carbon Budget 2021*. *Earth System Science Data*, 14(4), 1917-2005.
- Hoover, C. M. (2008). *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring: A Landscape-Scale Approach*. Springer Netherlands Springer e-books.
- Komsta, M. (2011). Package 'outliers'. *Medical University of Lublin*, Lublin.
- Langley, J, McKinley, D., Wolf, A., Hungate, B., Drake, B., et al. (2009). *Priming depletes soil carbon and releases nitrogen in a scrub-oak ecosystem exposed to elevated CO<sub>2</sub>*. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(1), 54-60.
- Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética. *Boletín Oficial del Estado* 121, pp 62009 a 62052.
- Mangiafico, M. (2017). Package 'rcompanion'. *Cran Repos*, 20, 1-71.
- Menard, S. (1995). *Applied Logistic Regression Analysis*. Sage University Paper Series on Qualitative Applications in the Social Sciences, 07-106, Thousand Oaks, CA: Sage.
- Mies, B., Jiménez, M. S., y Morales, D. (1996). *The ecophysiology of canarian Euphorbia shrubs, focussing the water balance*. *Plant Systematics and Evolution*, 202(1-2), 27-36.
- Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2019). *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono*.
- Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2021). *Registro de huella de carbono, compensación y proyecto de absorción de dióxido de carbono (Informe anual 2020)*.

- Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2022). *Registro de huella de carbono, compensación y proyecto de absorción de dióxido de carbono (Informe anual 2021)*.
- Myers, R.H. (1990) *Classical and modern regression with applications*. PWS-Kent Publishing, Boston.
- Otto, R. (2021). *Proyecto «Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono»*. Grupo de Investigación de Ecología y Biogeografía Insular. Grupo de Investigación de Fisiología Vegetal. Fundación general Universidad de La Laguna (FGULL).
- Otto, R., Krüsi, B., y 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.
- Otto, R., Krüsi, B. y 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.
- Panwar, V., y Gupta, M. (2013). *Soil organic carbon pool under different forest types in Himachal Pradesh*. *International Journal of Farm Sciences*, 3(2), 81-89.
- Pasalodos-Tato, M., Ruiz-Peinado, R., del Río, M., y Montero, G. (2015). *Shrub biomass accumulation and growth rate models to quantify carbon stocks and fluxes for the Mediterranean region*. *European Journal of Forest Research*, 134(3), 537-553.
- Pavón, N. P., Ayala, C. O., y Martínez-Falcón, A. P. (2016). *Water and carbon storage capacity in *I solatocereus dumortieri* (Cactaceae) in an intertropical semiarid zone in Mexico: Water and C Content in a Columnar Cactus*. *Plant Species Biology*, 31(3), 240-243.
- Pörtner, H., Roberts, D., Tignar, M., Paloczanska, E., Mintenbeck, K., et al. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- R Core Team (2022). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raven, J. A., y Falkowski, P. G. (1999). *Oceanic sinks for atmospheric CO<sub>2</sub>*. *Plant, Cell and Environment*, 22(6), 741-755.
- Real Decreto 163/2014, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono., *Boletín Oficial del Estado*, 77, pp 27437 a 27452.
- Revelle, M. (2015). *Package 'psych'*. The comprehensive R archive network, 337-33
- Rocafull, E. (2021). *Calculation of carbon storage of invasive species (*Opuntia spp.*) in Tenerife*. Trabajo final de Máster. Universidad de La Laguna.
- Skea, J., Shukula, P., Reisinger, A., Slade, R., Pathak, M., et al. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- UNFCCC. (2015). *Paris Agreement*. Último acceso: septiembre 2022.
- United States Environmental Protection Agency. (5 de mayo de 2022). *Understanding Global Warming Potentials*. US EPA. Último acceso septiembre 2021.
- Van Damme, P. L. J. (2001). *Euphorbia Tirucalli for High Biomass Production*. En D. Pasternak y A. Schlissel (Eds.), *Combating Desertification with Plants* (pp. 169-187). Springer US.
- Wang, H., Yao, F., Zhu, H., y 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.
- Whittaker, R. y Marks, P. (1975). *Methods of Assessing Terrestrial Productivity*. En H. Lieth y R. H. Whittaker (Eds.), *Primary Productivity of the Biosphere* (Vol. 14, pp. 55-118). Springer Berlin Heidelberg.
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L., et al. (2019). *Welcome to the tidyverse*. *Journal of Open-Source Software*, 4(43), 1686.
- Willerman, L., Schultz, R., Rutledge, J., y Bigler, E. (1991) *In Vivo Brain Size and Intelligence*. *Intelligence*, 15, 223-228