

Almacenamiento de carbono en matorrales de
***Artemisia thuscula* en Tenerife**

Carbon storage in *Artemisia thuscula* scrublands on
Tenerife



Trabajo Fin de Grado

Ismael Medina Rodríguez

Tutorizado por Elena Rocafull Pérez y Lea de Nascimento Reyes

Grado en Biología 2023

Contenido

Resumen	1
Abstract	1
1. Introducción	2
1.1 El cambio climático y la influencia antropogénica	2
1.2 Estrategias existentes para la acción climática	4
1.3 Importancia de la vegetación en la acumulación de carbono	8
1.3.1 El incienso canario (<i>Artemisia thuscula</i> Cav.).....	9
2. Objetivos	10
3. Material y metodología	10
3.1 Área de estudio	10
3.2 Diseño de muestreo	11
3.2.1 Caracterización de cobertura de <i>Artemisia thuscula</i> en las comunidades	11
3.2.2 Muestreo de biomasa	12
4. Análisis estadístico	13
5. Resultados	15
5.1 Estimación de la cobertura vegetal de <i>Artemisia thuscula</i> en Tenerife	15
5.2 Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa de <i>Artemisia thuscula</i>	16
5.3 Biomasa y porcentaje hídrico de <i>Artemisia thuscula</i> en Tenerife	19
5.4 Biomasa de <i>Artemisia thuscula</i> en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo	20
6. Discusión	22
6.1 Distribución y cobertura por comunidad	22
6.2 Cobertura de <i>Artemisia thuscula</i> por comunidad	23
6.3 Caracterización biométrica y de biomasa de <i>Artemisia thuscula</i>	24
6.4 Ecuación alométrica	24
6.5 Contribución de <i>Artemisia thuscula</i> en biomasa y carbono en matorrales secundarios	26
7. Conclusiones	27
8. Bibliografía	29

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que han estado durante el desarrollo de este proyecto a mi lado. En primer lugar, a mis tutoras, Elena Rocafull Pérez y Lea de Nascimento Reyes, por la paciencia y la dedicación que me han dado. A Natalia Sierra Cornejo, por ser como una tutora más. A todos los compañeros del área de Ecología, por ayudarme en la recolección de datos. A mis amigos y compañeros, por todos los ánimos y consejos durante este proceso. Y, por último, pero no menos importante, a mi familia, por el apoyo y la confianza que han depositado en mí.

Resumen

Artemisia thuscula (inciense morisco) es un endemismo canario que se desarrolla en matorrales secundarios, como las comunidades vegetales de inciense-vinagrero y tabaibal amargo, ampliamente distribuidos en Canarias. El principal objetivo de este estudio es la elaboración de una ecuación alométrica que permita estimar la biomasa aérea seca de *A. thuscula* y utilizarla para estimar el carbono almacenado por la especie. Se caracterizó la cobertura de *A. thuscula* en distintas parcelas de estas comunidades vegetales, abarcando la mayor variabilidad ambiental posible por comunidad, se inventariaron todos los individuos de cada parcela y se tomaron sus datos biométricos. Se recolectaron 32 individuos de inciense y se secaron para obtener el peso de su biomasa aérea seca. Con estos valores se elaboró una ecuación alométrica a partir de los datos de diámetro máximo y se aplicó la ecuación a todos los individuos de las parcelas para estimar la biomasa y el carbono almacenado por la especie en cada comunidad. Con este estudio se estimó que *A. thuscula* contribuye con 3210 t de carbono al almacenamiento de carbono en Tenerife, generando una información que servirá para futuras gestiones para compensar la huella de carbono.

Palabras clave: almacenamiento de carbono, biomasa, ecuación alométrica, huella de carbono, inciense-vinagrero, tabaibal amargo.

Abstract

Artemisia thuscula (Canary frankincense) is a Canary Island endemism that grows in secondary shrublands, such as the frankincense-Canary Island sorrel scrub and bitter spurge scrub plant communities, which are widely distributed in the Canary Islands. The main objective of this study is the development of an allometric equation to estimate the aerial biomass of *A. thuscula*, and the contribution of the species to the carbon storage. We characterized the cover of *A. thuscula* in different plots of this plant communities, covering as much environmental variability as possible per community. All the individuals were inventoried in each plot and took their biometric data. 32 individuals of *A. thuscula* were collected and dried to obtain their dry aerial biomass weight. With these values, an allometric equation was constructed from the maximum diameter data and the equation was applied to all individuals in the plots to estimate biomass and carbon stored in each community. This study estimated that *A. thuscula* contributes 3210 t of carbon to the carbon storage in Tenerife and the generated information will be useful for future efforts to offset the carbon footprint.

Key words: allometric equation, biomass, bitter spurge scrub, carbon footprint, carbon storage, frankincense-Canary Island sorrel scrub.

1. Introducción

1.1 El cambio climático y la influencia antropogénica

Las evidencias de la influencia humana sobre el cambio climático a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son claras. Desde 1750 con el inicio de la Revolución Industrial, la concentración atmosférica de CO₂ aumentó a 278 partes por millón (ppm) y en los últimos 60 años, se ha observado como se han duplicado las emisiones de CO₂, en especial, las provenientes de la quema de combustibles fósiles. El último registro de 2021 fue de 414,7 ppm y los datos preliminares de 2022, ya indican un aumento a 417,2 ppm (Friedlingstein et al., 2022). Según el Sexto Informe del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), el principal órgano internacional que evalúa el cambio climático y los estudios sobre el mismo, estas emisiones han producido un aumento de la temperatura global en 1,1 °C, en la década de 2011-2020, por encima de los valores del medio siglo de 1850-1900, donde dominan las emisiones de CO₂ y metano (CH₄).

Se prevé el aumento de temperatura en 1,5 °C entre 2021-2040, provocando el calentamiento de la superficie terrestres y múltiples cambios físicos asociados. Máximos históricos de temperatura, cambio en el régimen de precipitaciones, inundaciones, crecidas de ríos, aumento de la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como sequías y tormentas, el retroceso de glaciares y hielo marino ártico, pérdida de superficie de permafrost, subidas del nivel del mar o la acidificación de los océanos, son algunos de los cambios físicos que ya son observables y pueden producir pérdidas e impactos sustanciales e irreversibles tanto a los ecosistemas como a la población humana (IPCC, 2021). Algunos de estos impactos están asociados con la accesibilidad y disponibilidad de agua, la producción de alimentos, la salud y el bienestar, impactos sobre las infraestructuras, ciudades y asentamientos y cambios en la estructura de los ecosistemas y en la distribución de especies (Figura 1). Estos impactos y daños crecerán proporcionalmente con los incrementos de temperatura (IPCC, 2021).

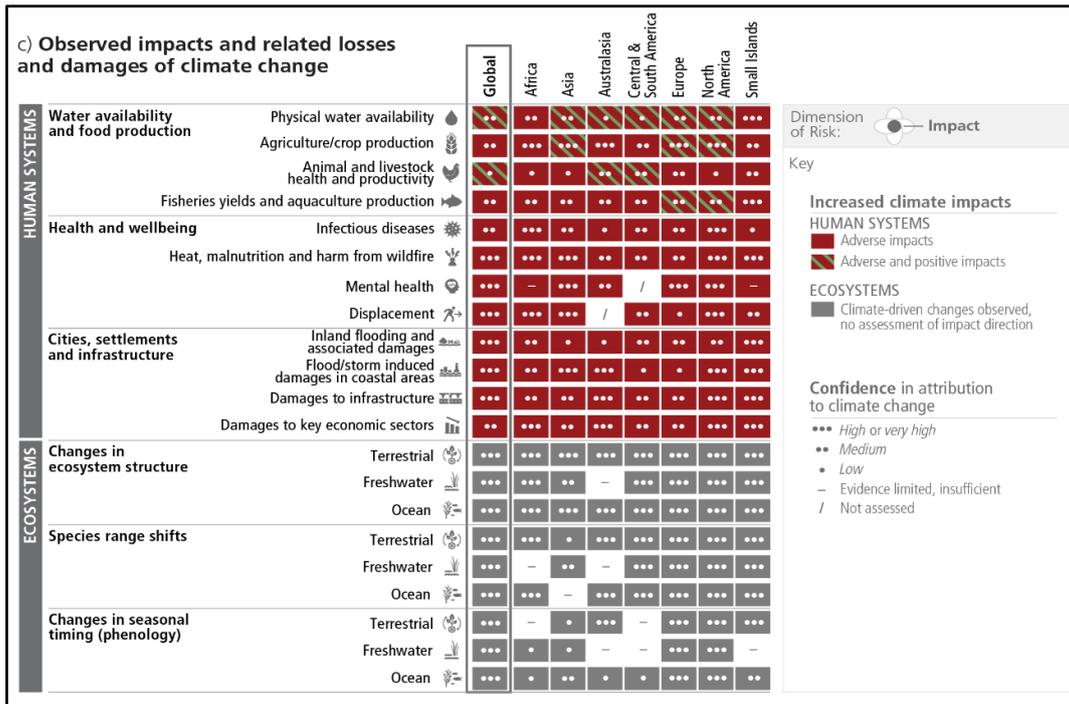


Figura 1. Tabla resumen de los impactos observados, pérdidas y daños asociados del cambio climático sobre la población humana y los ecosistemas según el Sexto Informe del IPCC (IPCC, 2023).

El ciclo del carbono es complejo y en él están involucrados diversos procesos bioquímicos y químicos, como las reacciones de asimilación, disimilación, la fotosíntesis y la respiración, la difusión entre la atmósfera y el océano y los procesos de precipitación de sedimentos carbonatados en el océano. Estos procesos permiten que el carbono circule a través de los cinco grandes compartimentos: la atmósfera, las reservas geológicas, los océanos, los suelos y la biomasa, que se encuentran todos interconectados. Las emisiones antropogénicas de CO₂ son la principal causa registrada del aumento de este gas en la atmósfera, sobrecargando el ciclo de carbono e influyendo en la capacidad de estos grandes compartimentos para asimilarlo (Friedlingstein et al., 2022).

El presupuesto global del carbono (PGC), es un seguimiento, certificado por el IPCC, de las medidas, variaciones y tendencias del CO₂ en el medio ambiente, que actualmente se centra en la década (2012-2022). El PGC cuantifica las entradas de CO₂ a la atmósfera emitidas por las actividades humanas y observa los cambios que se producen en los reservorios terrestres y oceánicos en respuesta a este aumento atmosférico, aportando información de las tendencias y variaciones del ciclo natural del carbono (Friedlingstein et al., 2022). En este estudio se muestran las cantidades estimadas de carbono en cada reservorio y las emisiones humanas en las unidades de giga toneladas de carbono (GtC),

además de expresarlas también por año (GtC/año). El PGC estima que se han emitido un total de 670 +/- 65 GtC entre 1850-2021, siendo la media en 1960 de 4,5 +/- 0,7 GtC/año, y con una previsión para 2022 de 11,1 GtC (Friedlingstein et al., 2022).

A nivel estatal, en el Inventariado Nacional de Gases de Efecto Invernadero, se recogen los datos anuales de las emisiones antropogénicas de España desde 1990. Según el último informe de 1990-2021, las emisiones de GEI disminuyen desde 2005, donde se registró el pico más alto de emisiones, 438760 kt CO₂ equivalente, mientras que las emisiones en 2021 fueron 288848 kt CO₂ equivalente, un 0,4 % más que el valor del año 1990, de 287710 kt CO₂ equivalente (MITECO, 2023a). En concreto en Canarias, el peso de las emisiones de GEI recae en las emisiones de la combustión derivadas de la producción y transformación de energía (34,64 %), el transporte por carretera (24,97 %) y otros modos de transporte y maquinaria móvil (40,39 %), como el tráfico aéreo, sumando un total de, aproximadamente, 13606,26 kt CO₂ equivalente en 2020 (OECan, 2023)

1.2 Estrategias existentes para la acción climática

Para evitar los impactos, pérdidas y daños asociados al aumento de CO₂ atmosférico (Figura 1) o, al menos, reducir los riesgos, se contemplan dos líneas de actuación que son complementarias; la adaptación y la mitigación. Sin planes de mitigación, la capacidad adaptativa puede verse sobrepasada.

Las medidas de adaptación tienen como objetivo reducir y limitar las vulnerabilidades de los sistemas humanos y naturales e incrementar sus resistencias ante los riesgos derivados del cambio climático (MITECO, 2020). El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030, es el instrumento por el cual se planifica la acción coordinada para hacer frente a los efectos del cambio climático en España. Se han propuesto distintas líneas de acción para cada ámbito de trabajo (Tabla 1).

Ámbitos de Trabajo	Líneas de acción
Clima y escenarios climáticos	Mejora de las redes de observación sistemática del clima y selección de indicadores sobre el cambio climático en España.
Salud Humana	Prevención y protección de la salud, investigación, formación, seguimiento y evaluación de nuevos indicadores asociados al cambio climático, además de la creación del Observatorio de Salud y Cambio Climático.
Agua y recursos hídricos	Desarrollo y/o actualización de los estudios de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos, los eventos extremos (sequías e inundaciones), el uso del agua y las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos asociados.
Patrimonio Natural, biodiversidad y áreas protegidas	Solventar la falta de información sobre los nichos climático de las especies para poder aplicar las estrategias y planes específicos para las especies catalogadas, reducir el impacto climático sobre ellas y aumentar su resiliencia.

Forestal, desertificación, caza y pesca continental	Coordinar y garantizar las políticas relacionadas con los bosques, permitir la sinergia otros sectores, generar un potencial multifuncional de los montes españoles de manera sostenible y equilibrada y mejorar la defensa contra incendios, sequías, daños bióticos o tormentas.
Agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y alimentación	Ampliación y actualización del conocimiento sobre los impactos y riesgos climáticos y medidas de adaptación de los principales cultivos, producciones ganaderas, pesquerías y producciones acuícolas.
Costas y medio marino	Actualización periódica de los impactos climáticos sobre las costas españolas, metodologías aplicables en la planificación territorial y urbanísticas de los espacios costeros, guías para limitar los daños derivados de los temporales costeros.
Ciudad, urbanismo y edificación	Prevención y reducción de los impactos del cambio climático y aumentar la resiliencia en el medio urbano.
Patrimonio cultural	Identificación de los principales riesgos y de los elementos del patrimonio cultural español más vulnerables e incorporar los impactos del cambio climático a los planes de conservación preventiva.
Energía	Desarrollar proyecciones para varios escenarios donde la disponibilidad de recursos hídricos y sus potenciales de producción hidroeléctrica se prevén reducidos y usar estas proyecciones para posibles cambios en los recursos disponibles en la planificación y gestión energética.
Movilidad y transporte	Revisar el diseño y operatividad de las infraestructuras frente al cambio climático y programas dirigidos a la obtención de nuevos productos y materiales de construcción sostenibles
Industria y servicios	Estudio de la transición ecológicas de las empresas y al cambio climático y desarrollo de nuevas tecnologías, productos y procesos orientados a la adaptación
Turismo	Implementar el cambio climático dentro de leyes, reglamentos, planes y estrategias del turismo.
Sistema financiero y actividad aseguradora	Integrar la adaptación en planes y programas de finanza sostenibles y establecimiento de mecanismos de acompañamiento de las empresas para el cumplimiento de las adaptaciones.
Reducción del riesgo de desastres	Evaluaciones prospectivas de riesgos de desastres y escenarios de cambio climático, actualizando en base a estos datos los planes de Sistema Nacional de Protección Civil.
Investigación e innovación	Integrar medidas de adaptación en las futuras estrategias y planes de ciencia, tecnología e innovación.
Educación y sociedad	Integrar la adaptación al cambio climático a los ejes temáticos de la educación y concienciar a la sociedad.
Paz, seguridad y cohesión social	Detección temprana y análisis de posibles conflictos que amenazan la cohesión social a nivel nacional y fomentar procesos de divulgación social con mayor alcance y la participación ciudadana.

Tabla 1. Resumen de las medidas de adaptación propuestas por el PNCC 2021-2030 (MITECO, 2020).

Las medidas de mitigación consisten en reducir las emisiones netas a la atmósfera de GEI producidos por la actividad antropogénica (MITECO, 2020). El Acuerdo de París es un tratado internacional sobre el cambio climático que pretende limitar el aumento de la temperatura global a 2 °C (preferiblemente 1,5 °C), por medio de estrategias de desarrollo a largo y corto plazo con bajas emisiones de GEI, con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en 2050 (UNCC, 2015). En España, se aprobó la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, donde se recogen los objetivos mínimos nacionales que hay que alcanzar para 2030. Para este año, España tendrá que reducir al menos un 23 % de sus emisiones con respecto a 1990 y llegar a la neutralidad climática en 2050. Además, la generación de energía de origen renovable deberá suponer

un 74 % del total de producción (Ley 7/2021). Los Planes de Impulso al Medio Ambiente (PIMAs) son una herramienta para poner en marcha medidas para luchar contra el cambio climático en España, con el objetivo de mitigar las emisiones de CO₂ en cada sector y paralelamente obtener desarrollo económico y fomento del empleo.

PIMAs	Objetivos
PIMA Cambio Climático	Fomentar y apoyar la adaptación al cambio climático en espacios urbanos y periurbanos potenciando la sinergia entre las estrategias de adaptación y mitigación, adaptando y beneficiando las infraestructuras urbanas para que sean más sostenibles.
PIMA Frío	Implantación de tecnologías alternativas a gases fluorados para la refrigeración de establecimientos dedicados a la distribución comercial.
PIMA Residuos	Fomento de la separación en origen de los biorresiduos para su tratamiento biológico u aprovechamiento, reduciendo las emisiones asociadas.
PIMA Adapta	Herramienta que apoya directamente los objetivos del PNACC para poner en marcha proyectos que reduzcan la vulnerabilidad frente al cambio climático anticipándose a los posibles impactos previsto.
PIMA Tierra	Reducción de las emisiones de partículas y contaminantes por medio de la renovación de tractores y maquinaria más eficiente y con menor impacto ambiental.
PIMA Empresa	Reducción directa de los GEI en el sector empresarial, beneficiando a las empresas comprometidas con el esquema de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de CO ₂ .
PIMA Transporte	Renovación de autobuses y transporte pesado de mercancías.
PIMA Aire	Renovación de vehículos comerciales ligeros más antiguos por nuevos más eficientes y de menor impacto ambiental.
PIMA Sol	Reducción de emisiones de GEI del sector turístico con rehabilitación energética en las instalaciones hoteleras, beneficiando a los que cumplan con una calificación energética letra B o subir dos letras en su calificación.

Tabla 2. Resumen de los PIMAs propuestos para reducir las emisiones de GEI (MITECO, 2023b).

Canarias es de los territorios más expuestos y vulnerables al cambio climático debido a su condición de región ultraperiférica, insularidad, la naturaleza fragmentada de su territorio, pequeño tamaño, elevada densidad de población y difícil topografía, siendo ya evidentes algunas de sus repercusiones, como por ejemplo el aumento de la frecuencia de olas de calor e intrusiones de polvo sahariano (calima), el aumento del nivel del mar (se ha detectado un aumento de $2,09 \pm 0,04$ mm/año en Tenerife) y la gran escasez de agua potable (Gesplan, 2022). Desde el Gobierno de Canarias, se reconoció la amenaza climática y se aprobó en 2022 la Ley Canaria de Cambio Climático y Transición Energética, siendo el instrumento marco que sirvió para la elaboración de la Estrategia Canaria de Acción Climática (ECAC), un instrumento por el cual se quiere alcanzar una sociedad climáticamente neutra y resiliente al clima en 2040 (Gesplan, 2022). Para ello la ECAC define cinco objetivos estratégicos:

(1) Reducción de emisiones de GEI y fomento de la absorción de carbono. (2) Mejora de la eficiencia energética. (3) Implantación de energías renovables. (4) Movilidad sostenible y transporte de emisiones contaminantes directas nulas. (5) Adaptación y resiliencia.

Estos objetivos se abordarán por medio de las medidas y actuaciones que se concretan a través del Plan Canario de Acción Climática (<https://www.gobiernodecanarias.org/cambioclimatico/plan-canario-accion-climatica/>), donde en primer lugar, se plasman los distintos escenarios climáticos presentes y futuros de las islas, se identifican y evalúan los impactos que se prevén en dichos escenarios y se evalúa la vulnerabilidad de los recursos naturales, del territorio y de la población ante estos impactos. Con los escenarios planteados, se concretan los objetivos de mitigación, adaptación y resiliencia a alcanzar y las medidas específicas antes esos riesgos detectados. Es importante la identificación de indicadores que faciliten evaluar el progreso y los resultados, además de mecanismos que permitan garantizar la gobernanza y que estas medidas se lleven a cabo bajo obligado cumplimiento (Gesplan, 2022).

El Registro de huella de carbono del MITECO recoge la participación de las organizaciones españolas en el cálculo y reducción de las emisiones de GEI que genera su actividad, es decir su huella de carbono. Las huellas de carbono van acompañadas de un plan de reducción y las empresas pueden optar a compensar toda o parte de su huella de carbono mediante una serie de proyectos forestales (MITECO, 2022). En Canarias, en concreto en el municipio de Teror, se realizó la restauración de la parcela el Sendido, a través de la plantación de diversas especies, siendo este y futuros proyectos herramientas clave para la descarbonización de la economía de Canarias (MITECO, 2023c). Todas aquellas organizaciones o explotaciones con un tamaño superior a lo que se determine en la ECAC (grandes y medianas empresas) como hoteleras y extrahoteleras, agrícolas y ganaderas, pesqueras y de acuicultura, industriales y de comercio y las vinculadas a la gestión de los recursos hídricos, estarán obligadas a elaborar planes de transición energética, donde deberán incluir un cálculo de su huella de carbono. Estas explotaciones u organizaciones podrán compensar de manera voluntaria sus emisiones mediante los mecanismos de compensación que establezca la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias, por medio de proyectos de absorción de CO₂ o de reducción de GEI. Aquellas organizaciones o explotaciones que no superen el tamaño establecido por la ECAC podrán participar de forma voluntaria en los planes de transición energética

(Gesplan, 2022). En este caso las administraciones deberán incluir el registro de emisiones dentro de los Planes Insulares y Municipales de Acción para el Clima y la Energía (PIMACE), que son las estrategias de mitigación y adaptación de cada territorio (Gesplan, 2022).

1.3 Importancia de la vegetación en la acumulación de carbono

Entre los objetivos de la ECAC, está la reducción de emisiones de GEI en un 90% con respecto al año 1990 y el fomento de la absorción del 10% de las emisiones por sumideros de carbono, como los océanos y los bosques. Se considera sumidero de carbono todo sistema o proceso por el cual se extrae el CO₂ de la atmósfera y se almacena. Los organismos vegetales actúan como sumideros debido a su función fotosintética; captan CO₂ atmosférico o disuelto en agua y con la interacción de la luz solar elaboran formas de carbono energéticas como azúcares, compensando el carbono que pierden al respirar y almacenando carbono en forma estructural o energética (OECC, 2023). La clave está en la permanencia de este carbono almacenado en los tejidos vegetales, por ello los bosques con árboles longevos se consideran grandes reservorios de carbono.

La hipótesis del efecto fertilizante del carbono estipula que con el aumento de CO₂ atmosférico, debería haber un aumento del secuestro de carbono en ecosistemas terrestres, debido a un aumento de la tasa fotosintética en las plantas y al consecuente, un aumento de la productividad primaria neta (Schimel et al. 2014). No obstante, existen estudios que han demostrado que, bajo condiciones controladas de incremento de CO₂ atmosférico, bosques maduros con árboles longevos aumentan la tasa de asimilación de carbono por fotosíntesis, pero en realidad, no hay crecimiento de las estructuras. Más de la mitad de la cantidad de CO₂ incrementado en la asimilación es usado para producir azúcares y otros compuestos que acaban reciclándose a través de la respiración de los suelos y regresando a la atmósfera. Se predice que esta situación en condiciones desfavorables, como la continua deforestación, las sequías persistentes, la degradación de los ecosistemas y el calentamiento global, debilita la capacidad de sumidero de carbono en bosques longevos, y que estos pasen a actuar como fuentes de carbono en un futuro, es decir, que liberen más CO₂ del que almacenan. Otros estudios ya apuntan a la saturación y el declive de los sumideros de carbono que suponen las masas boscosas de la Amazonia y África (Hubau et al., 2020).

Dado que los planes de la ECAC prevén facilitar que se compense las emisiones a través de sumideros naturales de carbono, es vital conservar las masas de vegetación, revertir la

deforestación, conservar las fuentes de agua, conocer cómo funcionan los ecosistemas y cuantificar el carbono almacenado en ellos, así como su potencial futuro de almacenamiento. En Canarias solo existe una primera aproximación del cálculo del carbono almacenado en los ecosistemas forestales que incluye la laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera, y los pinares de Tenerife, La Palma y El Hierro. La laurisilva de La Gomera tiene la capacidad de almacenar hasta 370 t/ha de carbono en biomasa aérea (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022), siendo la laurisilva canaria uno de los bosques que más carbono almacena entre otras laurisilvas del mundo, como el bosque de *Nothofagus* en Nueva Zelanda (255 t/ha) o la selva magallánica en la isla Grande de la Tierra del Fuego (Argentina), dividida en tres partes altitudinalmente; baja (468 t/ha), media (246,60 t/ha) y alta (311,70 t/ha), además de superar la capacidad de bosques mediterráneos como hayedos (160 t/ha) o encinares (30 t/ha) (Rodríguez, 2021). Pero al igual que otros bosques longevos, se prevé que la laurisilva de La Gomera sea la que tenga un menor potencial de crecimiento y, por tanto, de secuestro y almacenamiento de carbono en el futuro.

Por otro lado, se tienen pocos datos sobre los matorrales secundarios de Canarias. Se conoce la estimación de almacenamiento de carbono de algunas comunidades de matorrales costeros como el tabaibal dulce, con 4,95 t/ha de carbono en Tenerife, contribuyendo *Euphorbia balsamifera* con 26050 t de carbono (Pérez, 2022). Los matorrales secundarios ocupan un 45,6 % de la superficie total del archipiélago (del Arco et al., 2010) y se encuentran en expansión por las actividades antropogénicas, de modo que su contribución al almacén de carbono de las islas podría ser considerable y debería ser abordado. Por ello, en este estudio nos centraremos en la contribución al almacén de carbono de una de las especies arbustivas endémicas de Canarias, ampliamente distribuidas en matorrales secundarios, el incienso canario (*Artemisia thuscula*).

1.3.1 El incienso canario (*Artemisia thuscula* Cav.)

El incienso canario o morisco, *Artemisia thuscula* Cav., es un arbusto perteneciente a la familia Asteraceae, con múltiples ramificaciones desde la base del tronco, que puede alcanzar hasta más de 1,5 m de altura. Tiene hojas de un color verde-grisáceo, bipinnatisectas y dispuestas de forma alterna. Flores en inflorescencias densas y alargadas, flósculos amarillos parduzco de unos 4 mm (Bramwell, 2001). Además, desprende un intenso olor característico, por lo que probablemente fue usada como planta medicinal antiguamente, destacando sus propiedades antiespasmódicas, pectorales y

diuréticas. Se trata de un endemismo canario, presente en El Hierro, La Gomera, La Palma, Tenerife y Gran Canaria, que se distribuye en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo, comunidades secundarias endémicas importantes por su rápida colonización de los territorios degradados, que evolucionan con el tiempo y empiezan a constituir etapas previas de otras comunidades, hasta constituir esa comunidad al completo, como por ejemplo cardonales (del Arco et al., 2006). Al tratarse de una especie leñosa endémica que conforma comunidades de matorral secundario y distribuirse en un rango muy amplio de altitudes en las islas, desde los 25-1500 m s.n.m. a barlovento y desde los 20-1250 m s.n.m. a sotavento, es una especie de interés potencial en cuanto a su capacidad de almacenamiento de carbono.

2. Objetivos

Este estudio tiene como objetivo la estimación del carbono almacenado en el presente en la biomasa de la especie *A. thuscula* y su contribución dentro de las comunidades arbustivas de Tenerife, en concreto, en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo. Para cumplir este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Estimar la cobertura de *A. thuscula* en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo en Tenerife.
- Elaborar una ecuación alométrica para calcular la biomasa aérea en función de medidas volumétricas.
- Estimar la contribución de *A. thuscula* a la biomasa vegetal de las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo en Tenerife.

3. Material y metodología

3.1 Área de estudio

El estudio fue realizado en la isla de Tenerife, la cual cuenta con una extensión de 2034 km² y una altitud máxima de 3718 m s.n.m., siendo el pico más alto de España. Tanto su topografía como la presencia de los vientos alisios en Canarias permiten el desarrollo y reconocimiento de niveles altitudinales donde se dan distintas condiciones de temperatura y precipitaciones, que a su vez dan lugar a pisos bioclimáticos. Esto origina la aparición de distintos ecosistemas que se concatenan altitudinalmente: tabaibal – cardonal, bosque termoesclerófilo, monteverde, pinar, retamar de cumbre y comunidad de violeta del Teide (del Arco et al., 2006).

Artemisia thuscula puede encontrarse entre los 25-1500 m s.n.m. a barlovento y entre los 20-1250 m s.n.m. a sotavento en Canarias, pero se desarrolla principalmente en las comunidades secundarias de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo, que se distribuyen entre los pisos infra-termomediterráneo xérico semiárido inferior, donde domina la comunidad de cardonal, y el piso termomediterráneo xérico semiárido superior, coincidiendo con la distribución potencial de los bosques termoesclerófilos, es decir, en rangos altitudinales al norte de Tenerife de 440 – 1200 m s.n.m y al sur de 100 – 340 m s.n.m. También es posible ver inciensial-vinagreral en el termomediterráneo seco-húmedo, intercalándose en zonas donde hubo deforestación o incendios en el monteverde, por encima de los 1200 m s.n.m. al norte de Tenerife (del Arco et al., 2006). Las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo abarcan un área de distribución de 10011 ha y 10687 ha en Tenerife respectivamente (del Arco et al., 2010).

3.2 Diseño de muestreo

3.2.1 Caracterización de cobertura de *Artemisia thuscula* en las comunidades

Para caracterizar la cobertura de *A. thuscula* en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo se establecieron 10 parcelas de tabaibal amargo y 9 de inciensial-vinagreral (Figura 2). Las parcelas se ubicaron al azar en polígonos de las comunidades según el mapa de vegetación de Canarias (del Arco et al., 2006) y la última actualización (2022) del mapa de vegetación de Canarias en GRAFCAN (IDEcanarias visor 4.5.1). Dichas localizaciones comprenden distintas altitudes y orientaciones por toda el área de distribución de las comunidades, abarcando la máxima variabilidad ambiental posible. Se establecieron parcelas de 20x20 m y en cada una de ellas se realizó el inventariado de todos los individuos de la parcela, midiendo su altura, diámetro máximo y el perpendicular a este. Se tomaron datos abióticos de cada una de las parcelas como coordenadas, localidad, fecha, altitud, orientación, pendiente, macro-orientación y observaciones sobre el estado de la parcela. En aquellas especies con tronco bien diferenciado y accesible, como por ejemplo *Euphorbia lamarckii* o *Kleinia neriifolia*, se midió también el diámetro basal. Además, se tomó nota de la vitalidad de cada individuo

en una escala del 1 al 5, siendo 1 un individuo en muy mal estado y 5 un individuo sano, y la fenología, si presentaba flores, frutos o en su defecto, solo hojas.

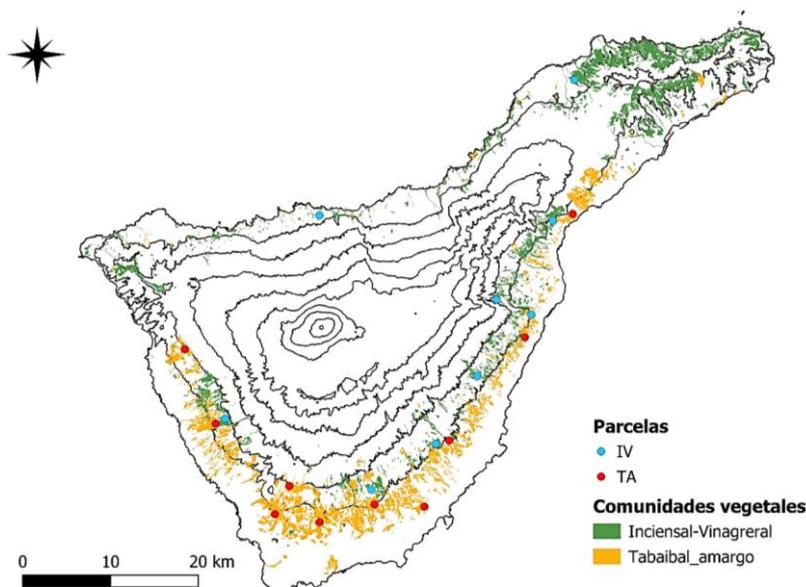


Figura 2. Mapa de la localización de las parcelas de tabaibal amargo (TA) e inciensial – vinagreral (IV) y la distribución de ambas comunidades en Tenerife.

3.2.2 Muestreo de biomasa

Se realizó un segundo muestreo para la elaboración de las ecuaciones alométricas. Se cortaron un total de 26 individuos de *A. thuscula*, abarcando la máxima variabilidad ambiental de la distribución de la especie. Para cada individuo se tomaron las medidas de altura, diámetro máximo y el perpendicular a este, fenología, vitalidad y datos abióticos, como coordenadas, localidad, altitud y fecha. La recolección se hizo incluyendo individuos de diversas alturas y diámetros máximos para poder abarcar la máxima variabilidad morfológica de la especie. Se recopilaban los datos de peso fresco, peso seco, altura y diámetro máximo de otros 6 individuos del trabajo previo de Otto et al. (2001) para aumentar el número de individuos de nuestro estudio, quedando un total de 32 individuos de *A. thuscula* (Tabla 5).

Todos los individuos fueron pesados en fresco y, posteriormente, secados en estufas a 70 °C hasta peso seco constante (Figura 3). No todos los individuos se secaron enteros, algunos se cortaron y pesaron con una pesa de mano en el campo y se tomó una muestra representativa del individuo para acelerar el proceso de secado. Con los datos de peso fresco y peso seco (Tabla 6) se calculó el porcentaje de contenido hídrico de cada individuo. También se deshojaron 5 individuos de distintos tamaños, de los que se obtuvieron otras variables como el peso fresco y seco de leño y el peso fresco y seco de

las hojas, para obtener el porcentaje de ambas partes respecto del peso seco total. La ecuación alométrica resultante de estos datos, se aplicará a todos los individuos de las parcelas para conocer la biomasa de la especie por unidad de superficie en ambas comunidades.



Figura 3. 1. Foto de una de las parcelas de inciensial-vinagreral donde se realizaron los muestreos. 2. Muestras de los distintos individuos en las estufas para su secado. 3. Pesado de los individuos.

4. Análisis estadístico

Para la elaboración de una ecuación alométrica que permite estimar la acumulación de carbono de *A. thuscula*, se tomó la variable peso seco total (PS.TOTAL) de cada individuo cortado y pesado como variable dependiente y se observó la influencia y la relación entre las siguientes variables: altura, diámetro máximo (D1), diámetro perpendicular al máximo (D2), diámetro medio (DM), biovolumen calculado con el D1 (Biovol.D1), biovolumen calculado con D1 y D2 (Biovol.D1D2) y biovolumen calculado con el DM (Biovol.DM).

Se utilizó el lenguaje computacional de R (R Core Team 2023.03.0) y Excel para el tratamiento de datos. En Excel se organizaron los datos de los individuos contabilizados en las parcelas de las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo y se calcularon las variables DM, Biovol.D1, Biovol.D1D2 y Biovol.DM a partir de los datos biométricos tomados para cada uno de ellos (Tabla 3). En R se hicieron los análisis estadísticos.

DM	$(D1+D2)/2$
Biovol.D1	$\pi *((D1/2)^2)*Altura$
Biovol.D1D2	$\pi *((D1/2)*(D2/2))*Altura$
Biovol.DM	$\pi *((DM/2)^2)*Altura$

Tabla 3. Cálculo de las variables de diámetro medio y biovolumen a partir de los datos biométricos de los individuos *de A. thuscula* medidos y pesados.

Para observar la posible correlación entre las variables se usó el paquete “psych” y su función “pairs”, con lo que obtuvimos 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”. Se compararon cuatro tipos de modelos para comprobar su valor predictivo con la variable dependiente:

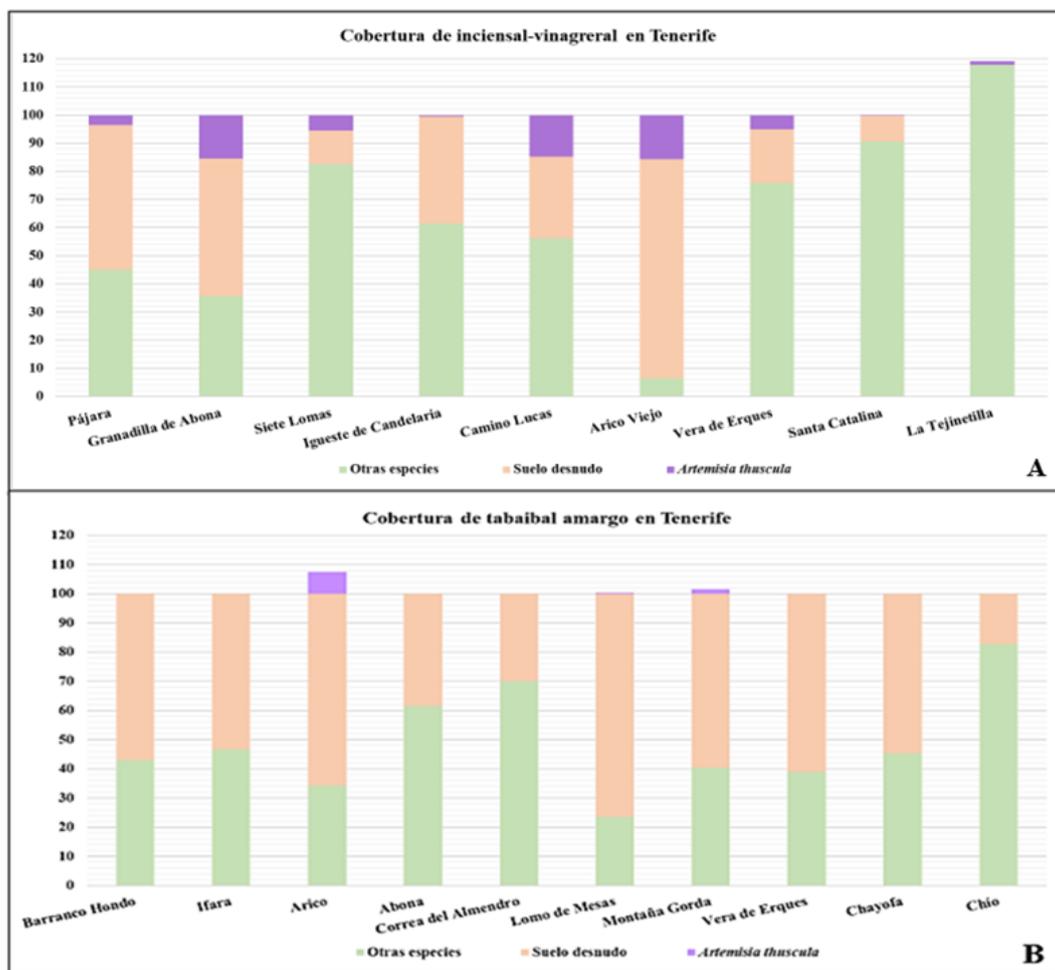
- Polinómico de segundo grado
- Regresión lineal simple
- Log - log
- Regresión lineal múltiple

Para elaborar las funciones polinómicas, fue necesaria la función “poly” del paquete “ISLR”, mientras que para los modelos de regresión lineal simple, múltiple y log-log se usó la función “lm” básica de R. Para seleccionar las mejores ecuaciones, primero se comprobó que los residuos de cada modelo cumplieran los requisitos de normalidad y homocedasticidad. Esto se analizó 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). También se comprobó 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”, la cual aplica el criterio de información de Akaike (AIC). Para poder comparar los modelos lineales y polinómicos con los log-log, se aplicó un ajuste a estos últimos, el valor de este ajuste se sumó al valor de la prueba AIC de los modelos log-log (Sakamoto et al., 1986).

5. Resultados

5.1 Estimación de la cobertura vegetal de *Artemisia thuscula* en Tenerife

El promedio de cobertura vegetal arbustiva en las comunidades de inciensial-vinagreral es del $70,46 \pm 28,46$ % y en tabaibal amargo del $49,56 \pm 16,22$ %. De este total estimado, *A. thuscula* ocupa un $6,92 \pm 6,55$ % y $0,96 \pm 2,27$ % de cobertura, respectivamente. El promedio de superficie sin vegetación arbustiva en inciensial-vinagreral es del $31,67 \pm 24,83$ % y en tabaibal amargo del $51,40 \pm 16,86$ % (Gráfica 1). Las dos especies con mayor cobertura en cada comunidad son, *Periploca laevigata* ($16,75 \pm 22,30$ %) y *Rumex lunaria* ($19,22 \pm 25,61$ %) en el inciensial-vinagreral, y *Euphorbia lamarckii* ($42,64 \pm 14,44$ %) y *Opuntia spp.* ($10,64 \pm 12,18$ %) en el tabaibal amargo.



Gráfica 1. Cobertura de *A. thuscula*, del resto de las especies arbustivas y superficie sin vegetación arbustiva, en las comunidades de inciensial-vinagreral (A) y tabaibal amargo (B) de distintas localidades de Tenerife.

Cuando los individuos se superponían en las parcelas se anotaba para evitar la sobreestimación de superficie, pero en parcelas muy densas pudo haber sobreestimación

de todos modos, como el caso de La Tejinetilla, Arico y Montaña Gorda, donde la estimación supera el 100 %.

5.2 Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa de *Artemisia thuscula*

Tras incluir todas las variables independientes en los modelos propuestos, se escogieron las 11 ecuaciones que mejor explicaban la estimación de biomasa seca para su comparación. Las ecuaciones se seleccionaron teniendo en cuenta la normalidad y homocedasticidad de los residuos (comprobación visual), que el p-valor fuera $<0,05$, y que el valor de R^2 fuera lo más cercano a 1 (en ecuaciones de regresión lineal múltiple el valor de R^2 ajustado). Estas ecuaciones fueron comparadas con la prueba de AIC, atendiendo al valor más pequeño. A los modelos logarítmicos se les sumó el ajuste $-64,35$ al valor de AIC (Tabla 4).

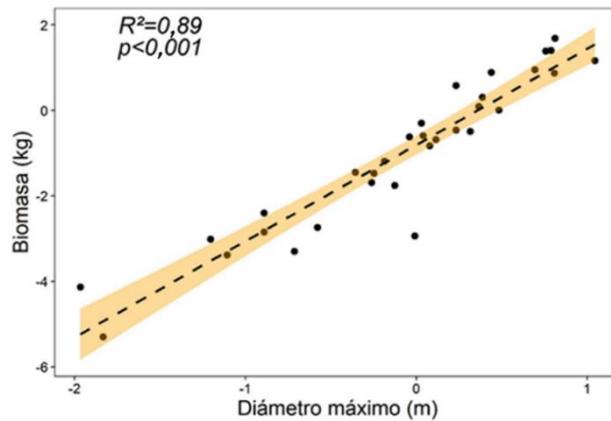
Modelos regresión lineal simple			
Variabes	AIC	R²	p-valor
Altura	78,73	0,62	<0,001
D1	67,58	0,75	<0,001
Biovol.D1	75,56	0,66	<0,001
Modelos log-log			
Altura	86,97	0,69	<0,001
D1	62,50	0,89	<0,001
Biovol.D1	65,29	0,88	<0,001
Modelos polinómicos de segundo grado			
Altura	87,96	0,63	<0,001
D1	66,29	0,78	<0,001
Biovol.D1	60,46	0,81	<0,001
Modelos regresión lineal múltiple			
D1 + Altura	73,94	0,75*	<0,001
D1 * Altura	73,15	0,76*	<0,001

Tabla 4. Modelos comprobados para el desarrollo de las ecuaciones alométricas de biomasa seca de *A. thuscula*. En los modelos de regresión lineal múltiple se ha usado el valor de R^2 ajustado.

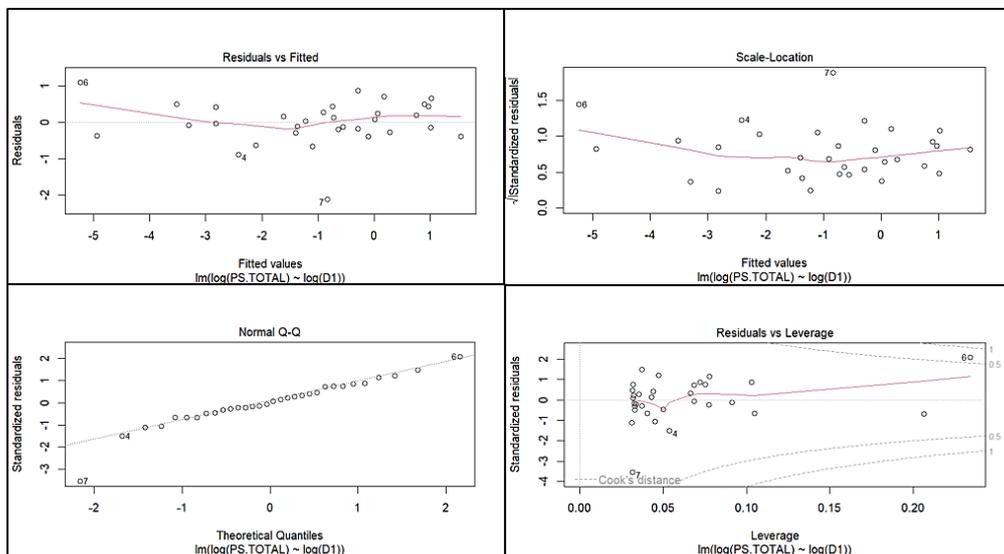
Tras comprobar la multicolinealidad entre las variables independientes, se usaron las variables altura y diámetro máximo para construir los modelos de regresión múltiple, puesto que presentaban la menor relación (0,84) en comparación con el resto de las variables. Aun así, este valor es alto y supone una relación alta entre las variables, de modo que el modelo de regresión lineal múltiple se descartó.

Teniendo en cuenta el ajuste de los modelos logarítmicos, con esta comparación hemos concluido que el modelo que mejor explica la estimación de biomasa seca de *A. thuscula* es el modelo log-log con el diámetro máximo como variable independiente (Gráfica 2). En las gráficas de los residuos de dicho modelo podemos observar que se cumple la homocedasticidad y normalidad de estos (Gráfica 3). La ecuación propuesta quedaría de la siguiente forma:

$$\ln(\text{Biomasa seca}) = 2,2518 * \ln(\text{Diámetro máximo}) - 0,8075$$



Gráfica 2. Representación gráfica de la ecuación alométrica para estimar la biomasa seca con el diámetro máximo de *Artemisia thuscula* en Tenerife.



Gráfica 3. Gráficas que muestran la homocedasticidad y normalidad de los residuos de la ecuación alométrica propuesta para la estimación de biomasa seca de *Artemisia thuscula* en Tenerife.

El promedio de altura de los individuos recolectados es $0,85 \pm 0,44$ m y el de diámetro máximo $1,14 \pm 0,69$ m (Tabla 5).

Código	Altura (m)	Diámetro máximo (m)	Biovolumen (m³)	Altitud (m s.n.m.)	Macro- Orientación
1	0,31	0,30	0,02	770	Sotavento
2	0,76	1,03	0,63	770	Sotavento
3	1,15	1,26	1,43	487	Sotavento
4	0,50	0,49	0,09	240	Barlovento
5	1,40	2,13	4,99	240	Barlovento
6	0,20	0,14	0,003	240	Barlovento
7	0,70	0,99	0,54	290	Barlovento
8	0,78	0,96	0,57	290	Barlovento
9	1,85	2,25	7,36	600	Sotavento
10	2,10	2,84	13,30	600	Sotavento
11	1,29	2,00	4,05	707	Barlovento
12	1,29	0,41	0,17	707	Barlovento
13	0,68	1,44	1,11	705	Barlovento
14	0,78	1,37	1,15	263	Barlovento
15	0,67	0,56	0,17	263	Barlovento
16	0,85	0,88	0,52	263	Barlovento
17	1,30	1,62	2,68	263	Barlovento
18	0,62	0,70	0,24	534	Sotavento
19	1,03	1,55	1,94	534	Sotavento
20	0,56	1,08	0,51	534	Sotavento
21	0,51	0,41	0,07	534	Sotavento
22	0,24	0,16	0,01	534	Sotavento
23	0,28	0,33	0,02	827	Sotavento
24	0,62	0,77	0,29	827	Sotavento
25	0,78	1,12	0,77	827	Sotavento
26	0,59	0,78	0,28	827	Sotavento
1AT	0,82	1,26	1,02	-	-
2AT	0,91	2,24	3,59	-	-
3AT	0,78	1,47	1,32	-	-
4AT	0,60	0,83	0,33	-	-
5AT	0,79	1,04	0,67	-	-
6AT	1,40	2,20	5,32	-	-

Tabla 5. Datos biométricos y abióticos de los individuos recolectados (1-26) e individuos del proyecto “Variación en la composición de especies y estructura de la vegetación de matorral suculento en Tenerife en relación con la variación ambiental” (1AT-6AT) (Otto et al., 2001).

5.3 Biomasa y porcentaje hídrico de *Artemisia thuscula* en Tenerife

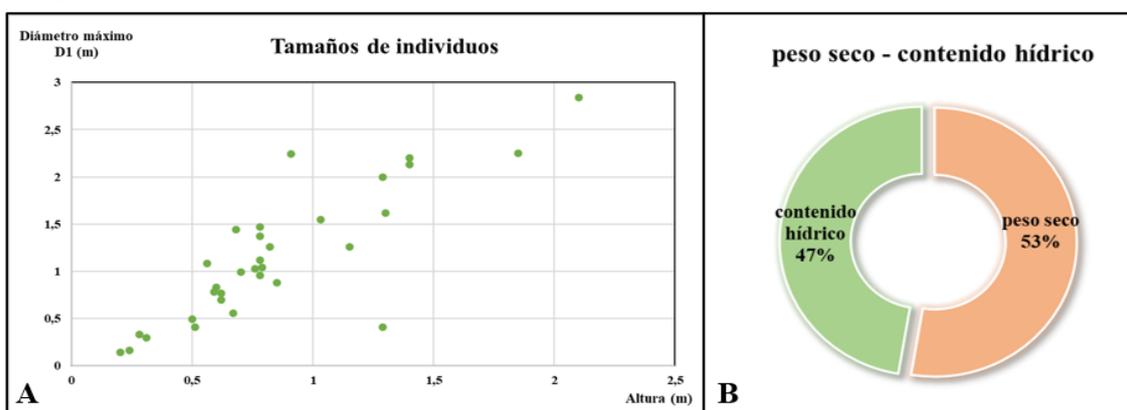
El rango de altura de los individuos recolectados es de 0,24–2,1 m y de diámetro máximo 0,14–2,85 m (Gráfica 4.A). Para hacer buen uso de la ecuación se debe aplicar solo a individuos que entren dentro de estos rangos, que son los utilizados para construir la ecuación. El rango de altura de los individuos inventariados en parcelas es 0,05-2,13 m y de diámetro máximo 0,05-2,79 m. Los valores mínimos de altura y diámetro máximo provienen de estimaciones de parches con plántulas muy pequeñas. El promedio de biomasa fresca y seca por individuo es $2,02 \pm 2,65$ kg y $1,09 \pm 1,42$ kg respectivamente (Tabla 6). De cada individuo vivo de *A. thuscula* la mitad de su peso contribuye a la acumulación de carbono y la otra mitad es contenido hídrico (Gráfica 4.B). Con el dato de cobertura de cada individuo se estima que el promedio de biomasa seca de *A. thuscula* es de $0,65 \pm 0,34$ kg/m² en Tenerife.

Código	Cobertura (m ²)	Biomasa fresca (kg)	Biomasa seca (kg)	Biomasa seca/superficie (kg/m ²)
1	0,07	0,10	0,05	0,69
2	0,83	1,37	0,74	0,89
3	1,25	1,31	0,63	0,51
4	0,19	0,17	0,04	0,20
5	3,53	7,67	4,02	1,13
6	0,02	0,05	0,02	1,04
7	0,77	0,14	0,05	0,07
8	0,72	1,12	0,54	0,74
9	3,98	9,10	5,40	1,36
10	6,33	8,70	3,21	0,51
11	3,14	4,51	2,59	0,83
12	0,13	0,17	0,09	0,69
13	1,63	1,98	1,10	0,68
14	1,47	1,43	0,62	0,42
15	0,25	0,16	0,07	0,26
16	0,61	0,32	0,17	0,28
17	2,06	1,84	1,01	0,49
18	0,39	0,45	0,24	0,61
19	1,89	4,57	2,44	1,29
20	0,92	0,75	0,44	0,48
21	0,13	0,10	0,06	0,44
22	0,02	0,01	0,01	0,25
23	0,09	0,07	0,03	0,40

24	0,47	0,28	0,19	0,40
25	0,99	0,85	0,51	0,52
26	0,48	0,36	0,23	0,48
1AT	1,25	2,81	1,80	1,44
2AT	3,94	3,86	2,40	0,61
3AT	1,70	2,33	1,36	0,80
4AT	0,54	0,50	0,30	0,56
5AT	0,85	0,92	0,56	0,66
6AT	3,80	6,65	4,08	1,07

Tabla 6. Biomasa fresca y seca (kg), y cobertura vegetal (m²) de los individuos de *A. thuscula* medidos y pesados.

De los cinco individuos deshojados de *A. thuscula* se pudo observar que en promedio, el porcentaje de biomasa seca del leño es $77,71 \pm 9,58$ % y el de las hojas $22,29 \pm 9,58$ %. El leño tiene una gran participación en la acumulación de carbono, llegando a suponer más de tres cuartos del peso seco total, mientras que las hojas cuentan como máximo con una participación de un cuarto del peso.



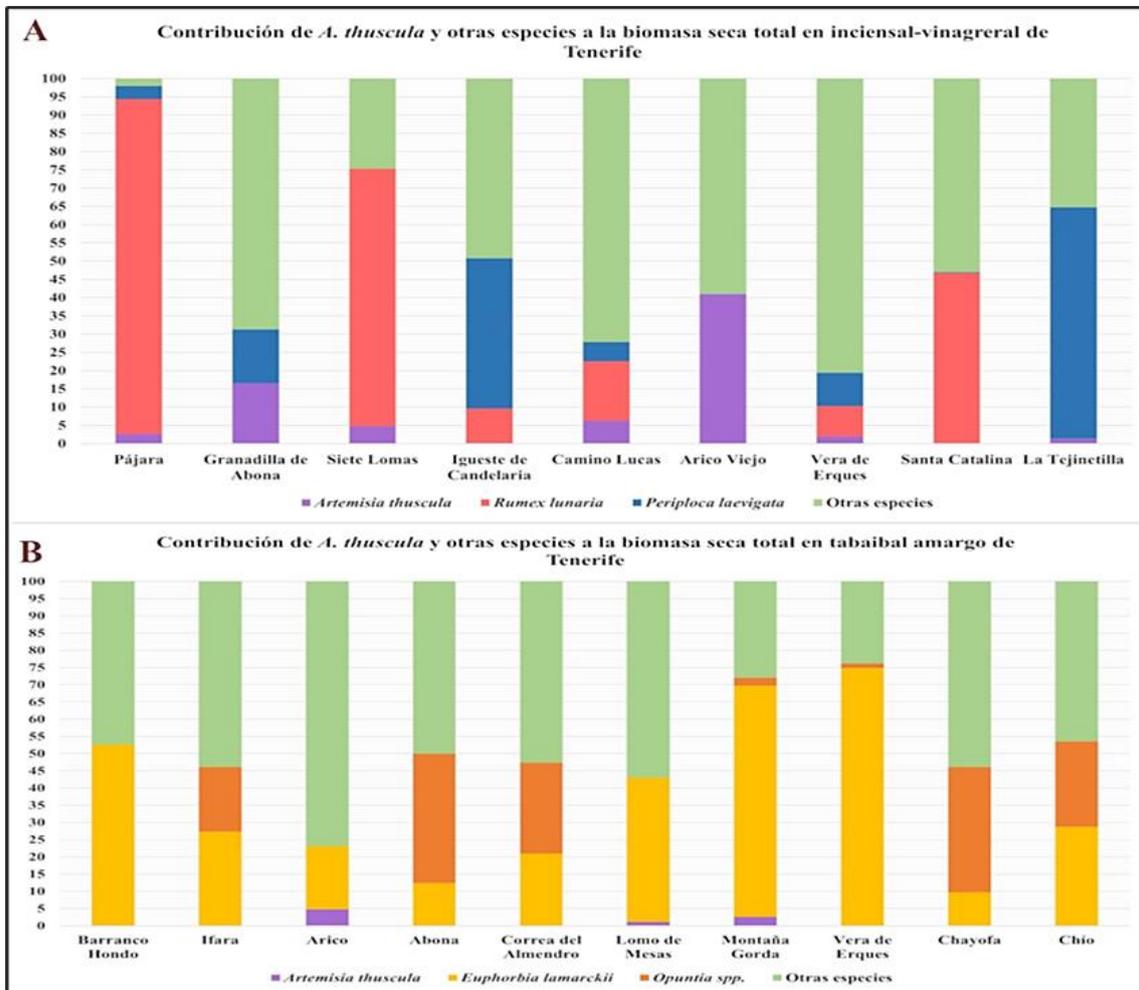
Gráfica 4. A. Tamaño de los individuos de *Artemisia thuscula* recolectados. B. Promedio del contenido hídrico y del peso seco obtenidos de los individuos recolectados.

5.4 Biomasa de *Artemisia thuscula* en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo

El promedio de biomasa seca de *A. thuscula* por parcela de inciensial-vinagreral es de $22,61 \pm 20,07$ kg y en tabaibal amargo de $2,86 \pm 6,57$ kg en Tenerife, es decir, $0,57 \pm 0,50$ t/ha y $0,071 \pm 0,16$ t/ha respectivamente. Sabiendo que el área de distribución en Tenerife del inciensial-vinagreral es de 10011 ha y el de tabaibal amargo 10687 ha, podemos estimar que *A. thuscula* tiene una contribución de 5706,27 t y 758,78 t de biomasa en ambas comunidades, respectivamente. Asumiendo que el 50% de su biomasa seca es carbono, su contribución al almacén de carbono que suponen ambas comunidades es de

2853,14 t y 379,39 t de carbono. Esto equivale en el inciensial-vinagreral a 10369 t CO₂ equivalente y en el tabaibal amargo a 1400 t CO₂ equivalente.

Con las ecuaciones alométricas existentes (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022) de las especies arbustivas inventariadas (*Argyranthemum frutescens*, *Cistus monspeliensis*, *Euphorbia balsamifera*, *Euphorbia canariensis*, *Euphorbia lamarckii*, *Kleinia neriifolia*, *Launaea arborescens*, *Lavandula canariensis*, *Opuntia dillenii*, *Opuntia maxima*, *Periploca laevigata*, *Plocama pendula*, *Rubia fruticosa* y *Rumex lunaria*), se estimó el promedio de biomasa seca por parcela de inciensial-vinagreral ($601,03 \pm 284,34$ kg) y de tabaibal amargo ($526,67 \pm 316,01$ kg), lo que equivale a 15,03 t/ha y 13,17 t/ha respectivamente (Gráfica 5).



Gráfica 5. Porcentaje de biomasa aérea seca total de los individuos de *A. thuscula*, de las dos especies arbustivas con mayor contribución a la biomasa aérea seca de cada comunidad y de otras especies arbustivas, presentes en las parcelas (400 m²) de inciensial-vinagreral (A) y tabaibal amargo (B), estimada con la aplicación de la ecuación alométrica propuesta en este trabajo para *A. thuscula* y las respectivas ecuaciones ya existentes de cada especie.

A. thuscula supone solo el $8,33 \pm 13,24$ % de la biomasa seca total del inciensial-vinagreral y el $0,85 \pm 1,62$ % del tabaibal amargo. Las dos especies con mayor contribución a la biomasa seca del inciensial-vinagreral son, *Periploca laevigata* ($15,29 \pm 22,22$ %) y *Rumex lunaria* ($26,97 \pm 34,32$ %), y del tabaibal amargo, *Euphorbia lamarckii* ($35,39 \pm 22,85$ %) y *Opuntia spp.* ($14,76 \pm 15,75$ %).

6. Discusión

6.1 Distribución y cobertura por comunidad

Las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo están ampliamente distribuidas en Tenerife, 10011 ha y 10687 ha respectivamente. Ambas, son comunidades que ocupan una superficie similar a otras comunidades de matorral, como el tabaibal dulce (10525 ha) y el jaral (11081 ha) (del Arco et al., 2010). Entre ambas conforman el 24 % de los matorrales de la isla (12 % cada una, aproximadamente) y representan un 50 % de las comunidades arbustivas secundarias.

Ambas comunidades cuentan con un porcentaje alto de suelo desnudo, el inciensial-vinagreral con un $31,67 \pm 24,83$ % y el tabaibal amargo destaca con un $51,40 \pm 16,86$ %. Es probable que esto esté ligado a las limitaciones climáticas, como el estrés hídrico y las altas temperaturas, en donde se desarrollan. Además, son comunidades que actualmente están en zonas degradadas, como terrazas de cultivo abandonadas, y que todavía están en estadios tempranos de la sucesión. Es posible que en un futuro puedan desarrollar más biomasa con el avance de la comunidad en la sucesión ecológica. La diferencia entre la cobertura total de ambas comunidades podría deberse a que el inciensial-vinagreral se desarrolla en zonas más elevadas y con menor estrés hídrico que el tabaibal amargo (del Arco et al., 2006), de modo que la disponibilidad del agua no sería un factor tan limitante y la vegetación es más densa.

También se han encontrado diferencias entre las parcelas orientadas a barlovento y a sotavento del inciensial-vinagreral, con una mayor cobertura de vegetación a barlovento (el suelo desnudo en La Tejinetilla es el 0 % y en Santa Catalina el 9,1 % de la superficie).

Por el contrario, la comunidad de tabaibal amargo es prácticamente inexistente a barlovento, teniendo su mayor contribución al sur de la isla. La presencia a barlovento en Tenerife del “mar de nubes” por acción de los alisios, produce mayor humedad atmosférica, menor insolación y menores temperaturas, lo que favorece el desarrollo de otras comunidades vegetales, impidiendo la expansión y desarrollo del tabaibal amargo (del Arco et al., 2006).

6.2 Cobertura de *Artemisia thuscula* por comunidad

La cobertura de *A. thuscula* por comunidad es pequeña. Por parcela de 400 m² de inciensial-vinagreral, la cobertura del incienso es de $6,92 \pm 6,55$ % y en tabaibal-amargo es de $0,96 \pm 2,27$ %. Teniendo solo en cuenta la cobertura vegetal de las parcelas, la contribución en el inciensial-vinagreral es del $15,97 \pm 22,79$ %, y en tabaibal amargo de $2,36 \pm 5,42$ %. De modo que *A. thuscula*, no es dominante en ninguna de estas comunidades. De las 34 especies inventariadas en las comunidades de inciensial-vinagreral, ninguna es dominante, a diferencia del tabaibal amargo, donde a pesar de haber 41 especies inventariadas, *Euphorbia lamarckii* es dominante. Esta dominancia de una especie en cobertura total se puede ver también en el tabaibal dulce de Tenerife donde *Euphorbia balsamifera*, representa el 70 % de la cobertura vegetal (Pérez, 2022).

Arico Viejo, Camino Lucas y Granadilla de Abona son las localizaciones donde mayor cobertura de *A. thuscula* encontramos. Son parcelas orientadas a sotavento y que tienen pocas especies, con presencia de especies invasoras como *Opuntia maxima*. Es probable que estas sean parcelas más degradadas o recientes, y que el incienso esté actuando como pionera de la comunidad. Se han podido observar otras parcelas en estadios más avanzados de la sucesión ecológica, como La Tejinetilla, Igueste de Candelaria o Santa Catalina, donde hay menos incienso, mayor densidad de vegetación y mayor variedad de especies, como *Jasminum odoratissimum*, *Kleinia neriifolia*, *Periploca laevigata* o *Rubia fruticosa*, que son comunes en comunidades maduras como cardonales o bosques termófilos.

Hay especies que contribuyen más en estas comunidades, como *Periploca laevigata* ($16,75 \pm 22,30$ %) o *Rumex lunaria* ($19,22 \pm 25,61$ %) en el inciensial-vinagreral y *Euphorbia lamarckii* ($42,64 \pm 14,44$ %) u *Opuntia* spp. ($10,64 \pm 12,18$ %) en el tabaibal amargo. De modo que este estudio ha servido para comprobar que, en la actualidad, pese a la amplia área de distribución de *A. thuscula*, indicada a priori por el mapa de vegetación (del Arco et al., 2006), esta no es una especie muy abundante en la comunidad de tabaibal

amargo y que tampoco es la especie dominante en el inciensial-vinagreral. Hay que destacar que la localización de las parcelas de este estudio se ha basado en el mapa de vegetación de Canarias (del Arco et al., 2006), un estudio que cuenta casi con 20 años. Nuestros resultados surgieron de que, zonas de vegetación que en su momento se cartografiaron como inciensial-vinagreral o tabaibal amargo, probablemente hayan avanzado en la sucesión hacia comunidades en las que *A. thuscula*, pionera en su momento, ya no es dominante, y se ha desplazado por otras especies de estados más maduros o en ocasiones por especies invasoras.

6.3 Caracterización biométrica y de biomasa de *Artemisia thuscula*

En base a los individuos recolectados, con una altura de $0,85 \pm 0,44$ m y un diámetro máximo de $1,14 \pm 0,69$ m promedio, se puede considerar *A. thuscula* como un arbusto pequeño. Se ha comprobado que la mitad de su peso contribuye a la acumulación de carbono y la otra mitad es contenido hídrico. A pesar de depender del agua contenida en sus tejidos, al desarrollarse en zonas áridas y semiáridas, cuenta con una proporción de biomasa seca alta (53 %) si la comparamos con otras especies que se desarrollan en el mismo ambiente, como *Euphorbia lamarckii* (24,5 %) o *Kleinia neriifolia* (21,1 %) (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022). Pese a crecer en ambientes con estrés hídrico, *A. thuscula* tiene una buena proporción de biomasa seca leñosa (3/4 de la biomasa seca total), y no ha desarrollado estrategias ante el estrés hídrico (Valladares et al., 2004), como la acumulación de agua, la reducción de superficie foliar o la pérdida de hojas durante las estaciones más desfavorables, como algunas especies del género *Euphorbia* (del Arco et al., 2006).

6.4 Ecuación alométrica

Para la elaboración de una ecuación alométrica que permita estimar la biomasa seca de *A. thuscula* se usaron los parámetros biométricos de los individuos recolectados, que fueron comparados con los parámetros de los individuos inventariados en las parcelas de este estudio para confirmar que se abarcó toda la variabilidad morfológica posible, de modo que se pueda aplicar a cualquier individuo que esté dentro de los rangos recolectados y a los individuos inventariados en este trabajo. Los rangos de altura (0,05-2,13 m) y diámetro máximo (0,05-2,79 m) de los individuos inventariados entran dentro de los rangos de altura (0,24-2,1 m) y diámetro máximo (0,14-2,85 m) de los individuos recolectados, con la excepción de los valores mínimos de altura y diámetro máximo, que provienen de la estimación de parches de plántulas muy pequeñas en las parcelas. Para

mejorar la estimación se añadieron los datos de Otto et al. (2001) incrementando el tamaño de la muestra.

En cuanto a la existencia de ecuaciones anteriores, en un estudio realizado en los matorrales áridos y semiáridos de Túnez se desarrolló ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa seca (en gramos) de *Artemisia campestris* y *Artemisia herba-alba*, en las localidades de Gafsa y Sbeitla (Suganuma et al., 2012). Las ecuaciones propuestas fueron:

(1) *A. herba-alba*: $1337 * \text{cobertura calculada con el diámetro medio (m)}$

(2) *A. campestris*: $1020 * \text{biovolumen calculado con el diámetro medio (m)}^{0,736}$

Ambas ecuaciones se aplicaron a los individuos recolectados en este estudio y se compararon sus resultados con la biomasa seca medida en este trabajo para cada individuo. La ecuación (2), da resultados muy similares a las medidas de los individuos recolectados en este trabajo, mientras que la ecuación (1), se ajusta menos a dichas medidas. Las estimaciones de biomasa seca, con estas ecuaciones, funcionan peor cuando se aplican a los individuos más grandes, sobrestimando su resultado, aunque esto ocurre también, en menor medida, con la ecuación desarrollada en nuestro estudio, de modo que sería ideal aumentar el número de individuos grandes de nuestra muestra, para mejorar la ecuación en un futuro. Sin embargo, al aplicar ambas ecuaciones en los individuos de *A. thuscula* inventariados en este estudio de ambas comunidades, dan peores resultados, sobrestimando los resultados de biomasa seca, dando para el inciensial-vinagreral (1) $30,99 \pm 27,77$ kg y (2) $40,99 \pm 36,95$ kg de biomasa seca por parcela, y en el tabaibal amargo (1) $3,90 \pm 8,81$ kg y (2) $5,86 \pm 13,40$ kg de biomasa seca por parcela. Probablemente se deba a que se sobrestiman los valores de biomasa seca en los individuos más grandes. En comparación con el resultado de la ecuación propuesta, hay claras diferencias entre ambas ecuaciones, de modo que podemos deducir que al menos, entre estas tres especies del género *Artemisia*, existen diferencias en cuanto al contenido de biomasa y probablemente morfológicas, por lo que nuestra ecuación no podría aplicarse con precisión a estas otras dos especies del género. Esto remarca la necesidad de elaborar ecuaciones alométricas específicas para cada especie.

La ecuación alométrica que propone este estudio para la estimación de biomasa seca de *A. thuscula*, se basa en la variable diámetro máximo, al ser el parámetro que mejor predice la biomasa seca de esta especie. La fiabilidad de esta ecuación es lo suficientemente buena

($R^2 = 0,89$) para *A. thuscula*, ya que es una especie con mucha variabilidad morfológica en comparación con otras especies de las cuales se han desarrollado ya ecuaciones alométricas, como *Euphorbia balsamifera* ($R^2 = 0,97$) (Pérez, 2022) o *Launaea arborescens* ($R^2 = 0,95$) (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022), de modo que la mayor parte de la varianza de nuestra muestra queda explicada por este modelo.

Con la ecuación propuesta en este proyecto, se evitarán los métodos destructivos a la hora de estimar la biomasa de esta especie en el futuro y se ahorrará el tiempo y esfuerzo de la recolección de muestras en campo y su posterior procesado en laboratorio, siendo necesario tomar un único parámetro en campo (diámetro máximo).

6.5 Contribución de *Artemisia thuscula* en biomasa y carbono en matorrales secundarios

Al aplicar la ecuación alométrica propuesta en este proyecto, se ha comprobado que por parcela de 400 m², hay un promedio de biomasa seca de *A. thuscula* en inciensial-vinagreral de $22,61 \pm 20,07$ kg y en tabaibal amargo de $2,86 \pm 6,57$ kg, es decir, $0,57 \pm 0,50$ t/ha y $0,071 \pm 0,16$ t/ha, respectivamente. Si extrapolamos estos datos a la distribución de ambas comunidades en Tenerife, se estima que en el inciensial-vinagreral hay 5655 t y en el tabaibal amargo 764 t de biomasa seca procedente de la especie. A pesar de que ambas comunidades ocupan una superficie similar, la contribución de *A. thuscula* es casi 7,5 veces mayor en el inciensial-vinagreral que en el tabaibal amargo. Esto concuerda con la cobertura de la especie en cada comunidad.

Asumiendo que la mitad de la biomasa seca es carbono (Schlegel, 2001), se puede estimar que la contribución del incienso en cada comunidad es de 2828 t en inciensial-vinagreral y 382 t de carbono, en el tabaibal amargo. Esto equivale a 10369,3 t CO₂ equivalente y 1400,6 t CO₂ equivalente respectivamente, siendo un total de 11770 t CO₂ equivalente. Esto supondría una compensación del 19,08 % de la huella de carbono generada debido a las emisiones de CO₂ (61690 t CO₂) en 2020 por parte de las plantas de combustión industrial de Canarias (OECan, 2023).

Con la información actualmente disponible y a falta de la elaboración de las ecuaciones alométricas de las especies arbustivas restantes en las comunidades estudiadas, se ha podido aplicar las ecuaciones alométricas existentes para el resto de las especies arbustivas inventariadas en las parcelas. Se pudo estimar que en el inciensial-vinagreral y el tabaibal amargo hay 15,03 t/ha y 13,17 t/ha de biomasa respectivamente. Si extrapolamos a la distribución de ambas comunidades en Tenerife, esto supone

150422,78 t y 140747,79 t de biomasa. *A. thuscula* solo supone un $8,33 \pm 13,24$ % de la biomasa seca total del inciensial-vinagreral y el $0,85 \pm 1,62$ % del tabaibal amargo. En comparación con *Periploca laevigata* ($15,29 \pm 22,22$ %) y *Rumex lunaria* ($26,97 \pm 34,32$ %) en el inciensial-vinagreral, y con *Euphorbia lamarckii* ($35,39 \pm 22,85$ %) y *Opuntia spp.* ($14,76 \pm 15,75$ %) en el tabaibal amargo, su contribución no es tan importante. Debido a la mayor cobertura de estas especies en ambas comunidades, como se ha discutido anteriormente. Probablemente en el pasado la contribución de *A. thuscula* como especie pionera era mayor en estas comunidades.

Si comparamos con otras especies con distribución similar en Tenerife, como *Euphorbia balsamifera*, que se distribuye ampliamente en el tabaibal dulce (10525 ha), la aportación de biomasa de esta especie es mayor que la de *A. thuscula*. *E. balsamifera* supone, 4,95 t/ha en el tabaibal dulce, es decir, 52098 t de biomasa que aportan 26050 t de carbono, mientras que el incienso contribuye con $0,57 \pm 0,50$ t/ha y $0,071 \pm 0,16$ t/ha a la biomasa del inciensial-vinagreral y tabaibal amargo, respectivamente. Los valores difieren bastante, no obstante, hay que tener en cuenta que la cobertura de *E. balsamifera* es casi de un 70 % en el tabaibal dulce, siendo la especie dominante de esa comunidad, lo que no sucede con *A. thuscula* en las dos comunidades en las que se ha muestreado.

Los resultados de este trabajo contribuyen a entender la contribución de *A. thuscula* para futuros planes de mitigación y compensación de la huella de carbono, al ser una especie con gran distribución altitudinal y formar parte de comunidades arbustivas secundarias, que como se ha podido comprobar, tienen mucho potencial como sumideros de carbono. Los primeros datos resultados obtenidos con las ecuaciones alométricas desarrolladas, permiten estimar que el inciensial-vinagreral y el tabaibal amargo, tienen una contribución al almacenamiento de carbono de un 173,50 % y un 162,34 % respectivamente, más que el tabaibal dulce (7,42 t/ha) (Grupo de Ecología y Biogeografía Insular, 2022), comunidad madura que cuenta con una superficie similar en Tenerife. Estos datos demuestran es esencial conocer la aportación de cada una de las especies arbustivas que conforman estas comunidades al almacenamiento de carbono de Canarias para una gestión más efectiva.

7. Conclusiones

Las conclusiones de este proyecto son las siguientes:

1. Las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo de Tenerife presentan coberturas vegetales medias y bajas, 70,46 % y 49,56 % respectivamente.

2. En la actualidad, *A. thuscula* no es una especie dominante en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo de Tenerife, lo que sugiere que su importancia como especie pionera en estas comunidades en estadios más iniciales de la sucesión y ha ido disminuyendo con el avance de las comunidades hacia estados más maduros, para dar paso a otras especies, incluyendo invasoras.
3. *A. thuscula*, cuenta con una gran proporción de biomasa seca (53 %), a pesar de desarrollarse en ambientes donde abundan plantas suculentas y donde hay un importante estrés hídrico.
4. La ecuación alométrica propuesta para *A. thuscula* usa el diámetro máximo de la planta como mejor estimador de la biomasa seca aérea, siendo una ecuación con un alto poder de predicción y sencilla de aplicar.
5. Se estima que hay un promedio de biomasa seca de *A. thuscula* de 0,57 t/ha en el inciensial-vinagreral y 0,071 t/ha en el tabaibal amargo de Tenerife, que supone un 8,33 % y un 0,85 % de la biomasa seca total de ambas comunidades respectivamente.
6. La aportación total de carbono de *A. thuscula* en las comunidades de inciensial-vinagreral y tabaibal amargo es de 3210 t de carbono, que equivalen a 11770 t CO₂.
7. Aunque la contribución al almacenamiento de carbono de *A. thuscula* no es tan elevada como la de otras especies arbustivas de Canarias, esta estimación complementa la información actual sobre el almacenamiento de carbono de los matorrales secundarios de Canarias, y se debería tener en cuenta para futuros planes de mitigación y compensación de la huella de carbono.

The conclusions of this project are the following:

1. Frankincense-Canary Island sorrel scrub and bitter spurge scrub communities of Tenerife have médium to low cover, 70.46 % and 49.56 % respectively.
2. At present, *A. thuscula* is not a dominant species in either the frankincense-Canary Island sorrel scrub and bitter spurge scrub of Tenerife, suggesting that this species was important as a pioneer in these communities at earlier stages of the ecological succession and has decreased its presence with the progress to more mature communities, giving way to other species, including invasive plants.
3. *A. thuscula* contributes 53 % of dry biomass to carbon storage, in spite of growing in environments where succulent plants are abundant and with an important water stress.

4. The allometric equation proposed for *A. thuscula* uses the maximum diameter of the plant as the best estimator of aerial dry biomass, with a high predictive accuracy and easily to apply.
5. It is estimated that there is an average dry biomass of *A. thuscula* of 0.57 t/ha in the frankincense-Canary Island sorrel scrub and 0.071 t/ha in the bitter spurge scrub of Tenerife, which represents 8.33 % and 0.85 % of the total dry biomass of both communities respectively.
6. The total carbon contribution of *A. thuscula* to the frankincense-Canary Island sorrel scrub and bitter spurge scrub communities is 3210 t of carbon, equivalent to 11770 t CO₂.
7. Although the contribution to carbon storage of *A. thuscula* is not as higher as other shrub species in the Canary Islands, the results of this work complement the current information on the carbon storage of secondary scrub in the Canary Islands, and should be taken into account for future plans for mitigation and compensation of the carbon footprint.

8. Bibliografía

- Bramwell, D., y Bramwell, Z. I. (2001). *Flores silvestres de las Islas Canarias* (4ª edición). Editorial Rueda.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Gregor, L., et al. (2022). Global Carbon Budget 2022, *Earth System Science Data*, 14, 4811–4900.
- Gestión y Planeamiento Territorial y Medioambiental, S.A (Gesplan). (2022). Estrategia Canaria de Acción Climática (ECAC) - Versión inicial. <https://www.gobiernodecanarias.org/cambioclimatico/materias/estrategia-canaria-accion-climatica/>
- 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.
- Hubau, W., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Affum-Baffoe, K., Beeckman, H., et al. (2020). Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature*, 579, 80–87. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021) Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Climate Change 2021: The Physical Science Basis \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/)
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2023). Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Jiang, M., Medlyn, B. E., Drake, J. E. et al. (2020). The fate of carbon in a mature forest under carbon dioxide enrichment. *Nature* 580, 227–231. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2128-9>
- 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, MJ., González-González, R., Garzón-Machado, V. et al. (2010). Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status. *Biodiversity and Conservation*, 19, 3089–3140. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9881-2>
- Ley 7/2021, de 20 mayo, de cambio climático y transición energética. 21 de mayo de 2021. BOE-A-2021-8447. <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2020). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Madrid <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/default.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2022). Registro de huella de carbono, compensación y proyecto de absorción de dióxido de carbono - Informe anual 2021. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/que_es_Registro.aspx
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2023a). Informe de inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero. Edición 2023 (1990-2021) Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEL.aspx>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) (2023b). Planes de Impulso al Medio Ambiente (PIMAs). <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/PIMAS.aspx>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (MITECO) (2023c). Proyecto de Absorción. Sendero didáctico de Doramas (Sendido). [Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono \(miteco.gob.es\)](https://www.miteco.gob.es)
- Observatorio de la Energía de Canarias (OECan). (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contaminantes atmosféricos de Canarias, agrupados según las categorías SNAP. <https://www3.gobiernodecanarias.org/ceic/energia/oecan/estadisticas-2/emisiones>
- 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
- Oficina Española de Cambio Climático (OECC). (2022). Cambio climático: impactos, adaptación y vulnerabilidad: guía resumida del sexto informe de evaluación del IPCC grupo de trabajo II. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/ipcc-guia-resumida-gt2-imp-adap-vuln-ar6_tcm30-548667.pdf
- Otto, R., Fernández-Palacios, J. M., y Krüsi, B. (2001). Variation in species composition and vegetation structure of succulent scrub on Tenerife in relation to environmental variation. *Journal of Vegetation Science*, 12, 237-248.
- Pérez, C. M. (2022). Cuantificación del carbono almacenado en *Euphorbia balsamifera* en el tabaibal dulce de la isla de Tenerife, Islas Canarias. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.
- Rodríguez, F. (2021). Importancia de la captura de carbono en forma de biomasa como estrategia de lucha contra el cambio climático. Estudio preliminar de la laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de La Laguna.
- Sakamoto Y., Ishiguro M., Kitagawa G. (1986). *Akaike information criterion statistics*. KTK Scientific Publishers.
- 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, 219-222.
- Schimel, D. S., Stephens, B. B., y Fisher, J. B. (2014). Effect of increasing CO₂ on the terrestrial carbon cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 436-441.
- Schlegel, B., (2001). Estimación de la biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. Universidad Austral de Chile.
- UNCC (United Nations Climate Change) (2015). El acuerdo de París. París <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Valladares, F., Vilagrosa, A., Peñuelas, J., Ogaya, R., Camarero, J. J., et al., (2004). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (pp. 163-190). Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A.
- Figura 1: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2023). Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>