

**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.**

**Autor: Fabián Rodríguez Fernández**

**Tutores: José María Fernández-Palacios y Rüdiger Otto  
Dittmann**

**Universidad de La Laguna**

**Trabajo final de Máster**

**Máster en Biodiversidad Terrestre y Conservación en Islas**

**Curso 2020/2021**



## **Agradecimientos**

A mis padres Francisco Rodríguez y Teresa Lilián Fernández, a mí hermana Carla Rodríguez, a mis tutores José María Fernández-Palacios y Rudiger Otto Dittmann por su dedicación y paciencia, a mi tío José Fernández y a Claudia Ramos por su constante ayuda. Agradecer también, a mis compañeros de máster de Biodiversidad Terrestre y Conservación en Islas. Al profesorado del máster y todos sus conocimientos aportados. A todos mis amigos, aquellos que me han apoyado y han sido participes de esta hermosa etapa. Esto no hubiera sido posible sin ustedes. Muchas gracias a todos.

## Resumen / Abstract

En este documento se realiza un estudio preliminar de la laurisilva de las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera centrado en la importancia de la captura de carbono en forma de biomasa como estrategia de lucha contra el cambio climático. Para ello, se han realizado diferentes cálculos con ecuaciones alométricas basados en datos del Inventario Forestal Nacional (IFN) y el proyecto NETBIOME de las parcelas estudiadas, para calcular la biomasa que sostiene la laurisilva en la actualidad y su posible potencial en relación a la captura de carbono. Los principales resultados nos indican que existe correlación entre el estado de madurez de la laurisilva, distribución potencial de la comunidad, factores ambientales y la captura de carbono, factor que se observa mejor en la laurisilva de La Gomera, a diferencia de las islas de La Palma y Tenerife, actualmente. Teniendo en cuenta estas observaciones, es de vital importancia la conservación de la laurisilva (especialmente en zonas más degradadas), así como otros ecosistemas, de cara a la captura de carbono en el futuro.

This document provides a preliminary study of the laurel forest on the islands of La Palma, Tenerife and La Gomera, focusing on the importance of carbon sequestration in the form of biomass as an elimination strategy against climate change. For this, it has been done calculations with allometric equations based on data from the National Forest Inventory (IFN) and the NETBIOME project of the studied plots, to calculate the biomass that the laurel forest currently supports and its possible potential in relation to carbon capture. The main results indicate that there is a correlation between the state of maturity of the laurel forest, potential distribution of the community, environmental factors and carbon sequestration, a factor that is best observed with the laurel forest of La Gomera, unlike the islands of La Palma. and Tenerife, currently. Taking these observations into account, the conservation of the laurel forest (especially in more degraded areas), as well as other ecosystems, is of vital importance in order to capture carbon in the future.

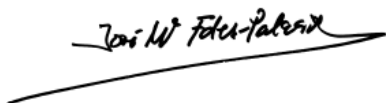
**José María Fernández-Palacios**, Catedrático de Ecología del Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de La Laguna y **Rüdiger Otto Dittmann**, investigador del Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de La Laguna certifican que el presente trabajo titulado:

**"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"**

se ha realizado bajo su dirección durante el curso académico 2020/2021 en el Departamento de Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de La Laguna, por el Graduado en Ciencias Ambientales Fabián Rodríguez Fernández para optar a los créditos correspondientes al "Trabajo de Fin de Máster" del Máster Oficial de Biodiversidad Terrestre y Conservación en Islas de la Universidad de La Laguna en el curso académico 2020/2021, y por ello:

AUTORIZAN a la lectura de este trabajo por considerar que reúne los requisitos de calidad necesarios para la presentación de este ante la comisión que le sea asignado al efecto.

San Cristóbal de La Laguna, a 30 de junio de 2021



Fdo.: José María Fernández-Palacios



Fdo.: Rüdiger Otto Dittmann

## Índice

1. Introducción y objetivo.....	7
1.1. Cambio climático antrópico y gases de efecto invernadero .....	7
1.1.1. El carbono y su ciclo.....	9
1.2. Convenios para eliminar el cambio climático antrópico .....	9
1.3. Diferentes estrategias de mitigación del cambio climático antrópico .....	11
1.4. Meta de 1,5 °C como máximo aumento de temperatura. Problemas de no cumplir las metas del IPCC .....	13
1.5. Sumideros y otras propuestas de secuestro de carbono .....	13
1.6. Importancia de la captura de carbono en forma de biomasa como estrategia para mitigar el cambio climático antrópico.....	16
1.7. Sucesión ecológica e importancia de la producción neta de los ecosistemas (PNE) .....	20
1.8. Objetivos .....	22
2. Área de estudio y la laurisilva .....	23
2.1. Área de estudio .....	23
2.2. La laurisilva.....	29
2.3. Tipos de laurisilva y la laurisilva macaronésica .....	31
3. Métodos .....	34
3.1. Cálculos del stock y del incremento de la biomasa .....	37
4. Resultados .....	40
4.1. Acumulación de biomasa. La laurisilva como depósito de carbono .....	40
4.2. Incremento anual de biomasa. La laurisilva como sumidero de carbono.....	46
4.3. Condiciones ambientales y biomasa .....	50
5. Discusión.....	53
5.1. Correlaciones con factores ambientales .....	59
6. Conclusiones.....	61
7. Bibliografía.....	63



## 1. Introducción y objetivo

### 1.1. Cambio climático antrópico y gases de efecto invernadero

En la actualidad, el cambio global es real. Este se define como el conjunto de cambios y transformaciones a gran escala, producto de las actividades antropogénicas y que afectan a nuestro planeta. Durante el último siglo, los componentes biofísicos (atmósfera, océanos, recursos hídricos, suelos, biodiversidad, entre otros) se han visto alterados a consecuencia de la intensificación de las actividades antrópicas. Estas últimas, han actuado como una fuerza notable, con impactos a escala geológica y, por tanto, esta época ha sido reconocida como la Era del Antropoceno.

Este término, Antropoceno, fue creado en un principio por el biólogo estadounidense Eugene F. Stoermer, y fue popularizado a principios del año 2000 gracias al holandés Paul Crutzen, premio Nobel de Química, para designar la época en la que las actividades humanas empezaron a generar cambios geofísicos y biológicos a escala mundial.

El cambio climático se define como la variación global del clima de la Tierra debido a la acción de los seres humanos. Se genera como consecuencia de los cambios de uso del suelo, del aumento exponencial de la población, de la destrucción de ecosistemas terrestres y su deforestación, de la destrucción de los ecosistemas marinos y del denominado efecto invernadero, el cual se origina por la presencia de determinados gases en la atmósfera, que en concentraciones normales son los que han permitido el desarrollo de la vida en la Tierra, pero que debido a algunas actividades humanas han incrementado su concentración, provocando un aumento de la temperatura media de la Tierra, y alterando por ello todo el sistema climático global.

Los gases de efecto invernadero tienen un papel fundamental en el cambio climático antrópico. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), entidad científica creada en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), los define como los gases integrantes de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben o emiten radiaciones en determinadas longitudes de onda provocando

un calentamiento. Del total de las emisiones de gases efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) constituye sobre el 70%, mientras que sobre el 20% corresponde al metano (CH<sub>4</sub>), y un 9% corresponde al óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Además de estos tres nombrados anteriormente, existen más gases de efecto invernadero, como son hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarburos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano (NMVOC), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), siendo estos últimos cinco precursores de la formación de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Paustian *et al.*, 2006; AEMET y OECC, 2018).

La concentración de dióxido de carbono al inicio de la Revolución Industrial (hace unos 250 años), era de aproximadamente 280 ppm, en la década de 1960 se encontraba superando los 300 ppm y en el año 2019 se encontró en la cantidad de 415,4 ppm, lo que supone un aumento cercano al 166,16% con respecto al comienzo de la Revolución Industrial. En este caso, si las emisiones persistieran en estos niveles actuales, se obtendría un aumento de temperatura de 1,5 °C entre los años 2030 y 2052 (Figueroa-Clemente *et al.*, 2010; AEMET y OECC, 2018).

La cantidad de carbono atmosférico que se hace compatible con un aumento de temperatura de 1,5 °C es de 570 Gt (Gigatoneladas) de CO<sub>2</sub>. Con estos datos, sabiendo que la actual tasa de emisiones es de aproximadamente 42 Gt CO<sub>2</sub>/año, y la cantidad de dióxido de carbono actual es de 415,4 ppm, el carbono remanente anteriormente mencionado se alcanzará en menos de dos décadas (AEMET y OECC, 2018).

El cambio climático antrópico, actualmente tiene unas consecuencias bastante notables. Entre ellas destacan, el aumento de la temperatura del mar y el derretimiento de las masas de hielo de los polos, ambos factores influyendo en la subida del nivel del mar, provocando inundaciones y problemas en las costas, junto con riesgos de desaparición de islas. Aumenta también la aparición de fenómenos meteorológicos extremos (huracanes, ciclones, tormentas, sequías, inundaciones...), acidificación de los océanos, cambios en los ecosistemas y desertificación, extinción de especies y migraciones masivas.



### 1.1.1. El carbono y su ciclo

El carbono del planeta se almacena en cinco grandes y diferentes compartimentos: los océanos, la atmósfera, los suelos, las reservas geológicas y la biomasa (fitomasa, zoomasa, biomasa de los microorganismos y necromasa). Estos compartimentos no son estancos, ya que se encuentran conectados entre sí mediante diferentes procesos o flujos, y las diferentes actividades humanas tienen repercusión directa, afectando a la distribución de carbono en ellos (Di Sacco *et al.*, 2021).



Figura 1.1. Ciclo del carbono (Geología Web, 2021).

### 1.2. Convenios para eliminar el cambio climático antrópico

Como bien sabemos, la degradación de los ecosistemas naturales y los paisajes se ha intensificado con la creación de infraestructuras, la expansión urbana, la industria, la agricultura y la ganadería, así como otros usos, como también con la alta demanda de recursos naturales a causa del gran aumento de la población. Toda esta

degradación afecta enormemente a la calidad de vida y al bienestar humano, y por ello, exige adoptar cambios en los diferentes modelos para revertir esta situación.

Compromisos como el Desafío de Bonn de la IUCN de 2011, las metas de Aichi y los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de Naciones Unidas incluyen medidas específicas para mitigar el cambio climático. El primero de estos presenta la meta de restaurar 150 millones de hectáreas degradadas hasta 2020 y unos 350 millones de hectáreas más para 2030. Las metas de Aichi hacen referencia al cumplimiento del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, el cual tiene el propósito de detener la pérdida de la biodiversidad, así como el soporte vital de todas las formas de vida en el planeta, y particularmente de la humana, mediante 20 acciones. Por último, los objetivos del desarrollo sostenible son adoptados por la Asamblea General de la ONU, siendo estos un total de 17, que incluyen 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarca las esferas sociales, económica y, por último, ambiental (Mola *et al.*, 2018).

También existe la Convención Marco de Naciones Unidas adoptada en 1992 y aprobada en 1994, que tiene como objetivo último lograr estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, para evitar posibles perturbaciones peligrosas en el sistema climático debido a causas antropogénicas. El Protocolo de Kioto, es otro instrumento internacional que contiene objetivos de reducción o limitación de gases de efecto invernadero (GEI) legalmente vinculante para los diferentes países desarrollados y economías de transición. En ambos, son de atención fundamental los sumideros de carbono (MITECO y OECC, 2019).

Finalmente, también se desarrolló en 2015, el Acuerdo de París adoptado en diciembre de 2015 por las 197 partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), siendo el primer acuerdo mundial vinculante sobre el clima. Este fue adoptado en la Conferencia de las Partes (COP) número 21 de las 25 que actualmente se han llevado a cabo.

### 1.3. Diferentes estrategias de mitigación del cambio climático antrópico

Es importante establecer diferentes estrategias para eliminar el cambio climático, sobre todo en el ámbito de los bosques. Esto es debido a que actualmente muchos bosques se están viendo deforestados y es necesario que estos vuelvan a su punto de origen. De esta manera favorecemos la mitigación del cambio climático que tanto nos acusa. Por "estrategias de mitigación" entendemos la aplicación de políticas dirigidas a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora de los sumideros mediante el análisis de las causas o fuentes de emisiones y el posterior planteamiento de soluciones (Melero-Hernández *et al.*, 2013). En la tabla 1.1, se incluyen diferentes estrategias para la mitigación del cambio climático antrópico actual:

Estrategia	Definición
Aforestación	Creación de bosques en áreas no forestadas naturalmente en los últimos tiempos.
Agroforestación	Restauración y gestión sostenible de tierras agrícolas existentes mediante la integración de árboles en el paisaje agrícola.
Forestación	Conversión, por actividad humana directa, de tierras que carecían de bosque, durante un periodo de al menos 50 años, en tierras forestales mediante plantación, siembra o fomento antrópico de semilleros naturales.
Gestión de bosques	Utilización de prácticas para la administración y uso de tierras forestales con objeto de permitir que el bosque cumpla sus funciones ecológicas (incluida la diversidad biológica), económicas y sociales de manera sostenible (podas, claras, etc.).
Gestión de tierras agrícolas	Aplicación de prácticas en tierras dedicadas a cultivos agrícolas y en tierras mantenidas en reserva o no utilizadas temporalmente para la producción agrícola (barbecho sin suelo desnudo, no laboreo, etc.).
Gestión de pastizales	Realización de prácticas en tierras dedicadas a la ganadería para manipular la cantidad y el tipo de vegetación y de ganado producidos (riego, fertilización de pastos, etc.).
Manejo adaptativo	Un enfoque intencional para tomar decisiones y ajustes en respuesta a nueva información y cambios en el contexto.
Nucleación aplicada	Plantar árboles en pequeños grupos o "núcleos" y depender de la dispersión de semillas desde dichos núcleos para restaurar la cubierta forestal en todo el sitio de restauración.
Pagos por servicios ecosistémicos	Incentivos financieros para la gestión de tierras que brindan un servicio ecológico, por ejemplo, protección de cuencas hidrográficas.
Proforestación	Protección de los bosques naturales existentes.
REDD+	Programa de las Naciones Unidas para "Reducir las emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques y el papel de la conservación, la ordenación sostenible de los bosques y la mejora de las reservas de carbono forestal en los países en desarrollo".
Reforestación	Recreación de bosque en un área previamente forestada.
Regeneración natural asistida (o acelerada) (ANR)	Gestionar el proceso de regeneración de los bosques naturales para lograr la recuperación del ecosistema forestal más rápidamente, a través de intervenciones como el cercado, el deshierbe y las plantaciones de enriquecimiento.
Regeneración Natural (NR)	El proceso de regeneración natural del bosque, que puede ocurrir espontáneamente después del abandono de la tierra o ser asistido por intervenciones humanas.
Restauración	El proceso de ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido.
Restauración de bosques y paisajes (FLR)	Proceso continuo de recuperación de la funcionalidad ecológica y mejora del bienestar humano en paisajes forestales deforestados o degradados.
Restauración forestal	Restauración de áreas boscosas degradadas, dañadas o destruidas.
Revegetación	La revegetación se define como la actividad humana directa realizada con el objetivo de aumentar el carbono almacenado en determinados lugares mediante el establecimiento de vegetación en una superficie mínima de 0.05 ha y que no se ajusta a las definiciones de forestación y reforestación (por ejemplo, márgenes de autopistas, parques, etc.).

Tabla 1.1. Principales estrategias para mitigar el cambio climático antrópico y sus definiciones (MITECO y OECC, 2019; Di Sacco *et al.*, 2021).

#### **1.4. Meta de 1,5 °C como máximo aumento de temperatura. Problemas de no cumplir las metas del IPCC**

El IPCC realizó un informe especial sobre los impactos de un calentamiento global de 1,5 °C y las sendas de emisión relacionadas, en el cual la meta principal es dar a conocer información de actualidad sobre el cambio climático y concienciar sobre los beneficios que contendría limitar el calentamiento a 1,5 °C (AEMET y OECC, 2018).

En el caso de alcanzar un aumento de 1,5 °C de temperatura, existirán consecuencias en los ecosistemas, la vida y la sociedad. Entre estas, destacan casos como son la reducción de los arrecifes de coral de aguas cálidas entre un 70-90%, daños en ecosistemas marinos, desplazamientos latitudinales de especies marinas, pérdidas de recursos costeros, pérdidas de productividad en ecosistemas y acuicultura, desapariciones del hielo marino durante el verano en el océano Ártico, en torno al 4% de los ecosistemas sufrirán transformaciones, ciertas especies perderán más de la mitad de su distribución geográfica, aumento de especies invasoras, mayores frecuencias de incendios forestales, aparición de enfermedades, reducciones en la disponibilidad de alimentos, entre otras. Alcanzar un aumento de 2 °C de temperatura, contendría aún peores consecuencias para el planeta (AEMET y OECC, 2018).

Si deseáramos mantener o limitar el aumento de temperatura en 1,5 °C, debemos reducir las emisiones desde el año 2020 de manera progresiva hasta conseguir emisiones netas cero sobre el año 2050 (AEMET y OECC, 2018).

#### **1.5. Sumideros y otras propuestas de secuestro de carbono**

Como punto más importante a considerar antes de comentar aspectos como los sumideros de carbono, hay que establecer la posibilidad de reducir la cantidad de emisiones de carbono en el Planeta. Es por ello, que sería interesante transformar los sistemas de producción de energía, usos de la tierra, sistemas de transporte y construcción y sistema industrial actual. Una demanda baja de energía, bajo consumo

de materiales, y consumo de alimentos menos intensivo en términos de gases de efecto invernadero, ayudaría a la reducción del carbono emitido. Para ello es necesario realizar un aumento de inversiones en adaptación y mitigación, establecer instrumentos políticos, acelerar las innovaciones tecnológicas y conseguir cambios en las conductas de las personas (AEMET y OECC, 2018).

La reducción de la huella de carbono es la prioridad actual para disminuir la contaminación. Esta se conoce, como el rastro de gases de efecto invernadero que dejan las actividades humanas. Para reducirla, debemos apostar por consumos responsables, basados en productos de proximidad o productos locales, los cuales hayan sido elaborados de forma sostenible; desplazarnos de forma sostenible, usando transportes públicos, bicicletas o ir a pie, como también de vehículos respetuosos con el medio ambiente; consumos de energía 100% renovable; disminuir la cantidad de residuos generados, reutilizando o reciclando estos mismos, e intentar concienciar a más personas sobre la importancia de reducir la huella de carbono.

Otra forma de eliminar parte de la gran cantidad de carbono que se emite anualmente a la atmósfera y así limitar el calentamiento global, es el secuestro de carbono. Este secuestro, se lleva a cabo a través de los sumideros, los cuales se definen como "todo proceso o mecanismo que hace desaparecer de la atmósfera un gas de efecto invernadero" o "cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorba de la atmósfera gases de efecto invernadero, aerosoles o precursores de estos gases". Por otro lado, también es conveniente definir que es un reservorio: "Un reservorio dado puede ser un sumidero de carbono atmosférico si, durante un intervalo de tiempo determinado, es mayor la cantidad de carbono que entra en él que la que sale de él" (Robla-González, 2017; AEMET y OECC, 2018; MITECO y OECC, 2019).

La acción de los sumideros de carbono es llevada a cabo durante el proceso de fotosíntesis por los diferentes ecosistemas forestales del mundo, quedando estos definidos como aquellas tierras pobladas con especies forestales arbóreas como manifestación vegetal dominante que cumplan tres condiciones: i) superficie mínima de 1 ha, ii) altura mínima de 3 metros de los árboles maduros y iii) cobertura (o fracción de cabida cubierta) mínima de un 20 % (MITECO y OECC, 2019).

Es necesario saber, que el CO<sub>2</sub> absorbido de la atmósfera es almacenado en forma de C, pasando así a formar parte de la materia orgánica de las plantas. Cierta parte de este C absorbido pasa también a formar parte de la hojarasca, biomasa forestal, madera o los suelos entre otros, formando parte estos también de reservorios (MITECO y OECC, 2012).

Otra forma de secuestrar el CO<sub>2</sub> consiste en inyectarlo en formaciones geológicas, bien en los fondos oceánicos o en ambientes terrestres (Smit *et al.*, 2014). También es posible utilizar el dióxido de carbono de las emisiones para producir combustibles, químicos y materiales para dar beneficios a medio o largo plazo (SAPEA, 2018). Así mismo, se recomienda el uso de los productos forestales como material de construcción para evitar mayores gastos y emisiones de dióxido de carbono.

Los reservorios a tener en cuenta al medir la capacidad de sumidero de un ecosistema terrestre, sea forestal o agrícola, son los siguientes (Tabla 1.2, Figura 1.1):

Reservorio		Descripción
Biomasa viva	Biomasa vegetal aérea	La biomasa vegetal aérea se diferencia en fotosintética (hojas y tallos verdes), de sostén (troncos, ramas) y reproductora (flores, frutos, semillas)
	Biomasa vegetal subterránea	La biomasa vegetal subterránea exclusivamente es de sostén (raíces, radículas)
Biomasa muerta	Madera muerta	Madera muerta en pie o depositada en el suelo (troncos, ramas)
	Hojarasca/Mantillo	(Hojas, ramas, flores, frutos, semillas y material irreconocible debido a su avanzado estado de descomposición)
Suelos	Materia orgánica del suelo	Compuesto por raíces y pequeñas raíces muertas junto con otros restos orgánicos y órgano-minerales en diferentes estados de descomposición, habitualmente denominado como humus

Tabla 1.2. Tipos de reservorios de gases efecto invernadero (Aguilera *et al.*, 1994; MITECO y OECC, 2012).



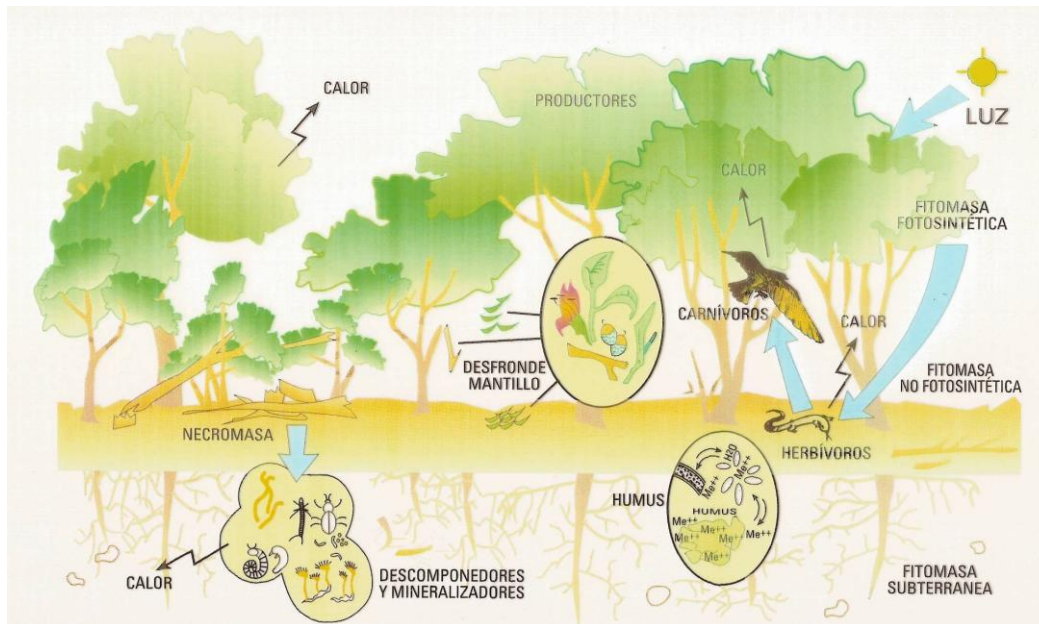


Figura 1.1. Ecosistema forestal en el que se representan los compartimentos de biomasa y necromasa, así como los flujos energéticos que existen entre estos (Aguilera *et al.*, 1994).

Un detalle de suma importancia, es que los sumideros de carbono pueden llegar a comportarse como fuentes en vez de sumideros. Esto puede ser debido a causas como son los incendios, las plagas y enfermedades, extracciones madereras o recogidas de cosechas en terrenos agrícolas, lo que hace que desaparezca esa vegetación que ha realizado la labor de sumidero de carbono, liberándose así de nuevo el carbono a la atmósfera (MITECO y OECC, 2012).

### 1.6. Importancia de la captura de carbono en forma de biomasa como estrategia para mitigar el cambio climático antrópico

En la Biosfera es imprescindible distinguir entre el carbono almacenado en el ecosistema (árboles, vegetación subsidiaria, suelo y productos obtenidos) habitualmente expresado en toneladas por hectárea y el flujo de carbono entre los ecosistemas y la atmósfera, habitualmente expresado en t/ha año (Pardos, 2010).

La absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres (principalmente los sistemas forestales) es el resultado de la diferencia entre el carbono absorbido y el

emitido a la atmósfera por cambios de uso de la tierra. El parámetro trófico que nos indica si un ecosistema acumula o no biomasa con el paso del tiempo es la Producción neta del ecosistema (PNE). La PPN puede ser muy grande y no acumularse biomasa (sabana, con gran carga de herbívoros) o muy pequeña y acumularse biomasa (bosque forestal inmaduro con muy baja carga de herbívoros), pues ello depende del tipo de ecosistema y del grado de madurez del mismo.

Otro elemento fundamental para determinar la importancia de la captura de carbono en forma de biomasa de los diferentes tipos de biomas/reservorios terrestres, es conocer la cantidad de C que estos son capaces de retener o absorber en su biomasa vegetal y en su necromasa.

En la tabla 1.3 y la figura 1.2 se muestran las cantidades de carbono almacenadas en la vegetación y en el suelo por los diferentes biomas del mundo, así como su distribución mundial. El carbono almacenado corresponde con la cifra de 2477 Gt, lo que significa que su oxidación completa daría lugar a una cantidad de 9,082 Tt (Teratoneladas) de CO<sub>2</sub>. En la vegetación, vemos un total de 466 Gt de C si sumamos todos los biomas, lo que equivaldría a un total de 1,7 Tt de CO<sub>2</sub>. Si comparamos ambas cifras comentadas anteriormente, con el total de emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> del año 2016, alrededor de 34 Gt de CO<sub>2</sub>, observamos la cantidad de carbono almacenado y de la importancia de la vegetación desempeñando ese papel (MITECO y OECC, 2012).

El potencial del secuestro de carbono de un sistema forestal depende del contenido inicial en carbono orgánico, de las tasas de crecimiento y edad del rodal, de la capacidad biológica inherente al lugar y, finalmente, del destino de los productos que se obtengan. Con respecto al destino de los productos, se podría estar hablando de la utilización de la madera para la construcción (edificios públicos, puentes, pasarelas), para producir papel y cartón, mobiliario y otros tipos de herramientas. En los casos mencionados la captura de carbono sigue intacta, favoreciendo el secuestro de carbono (FEMP, 2010; Pardos, 2010).

El contenido de carbono en la vegetación y los suelos (hasta 1 m de profundidad) y la superficie ocupada por los diferentes biomas (tabla 1.3), muestran diferencias entre ellos. Existe un contenido de carbono en el suelo mayor que en la

vegetación para todos los ecosistemas, salvo en los bosques tropicales en los que el contenido en la vegetación se iguala con el del suelo y sobrepasa con mucho al de la vegetación de cualquier otro bioma. Cabe también destacar, la mayor cantidad de carbono en la vegetación en los biomas forestales en comparación con los otros biomas (Pardos, 2010).

Bioma	Área (10 <sup>9</sup> ha)	Vegetación (Gt C)	Suelo (Gt C)	Total (Gt C)
Bosques tropicales	1,76	212	216	428
Bosques templados	1,04	59	100	159
Bosques boreales	1,37	88	471	559
Sabanas tropicales	2,25	66	264	330
Herbazales templados	1,25	9	295	304
Desiertos y semidesiertos	4,55	8	191	199
Tundra	0,95	6	121	127
Humedales	0,35	15	225	240
Tierras de cultivo	1,60	3	128	131
Total mundial	15,12	466	2011	2477

Tabla 1.3. Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y suelo hasta 1 m de profundidad (Pardos, 2010; MITECO y OECC, 2012).

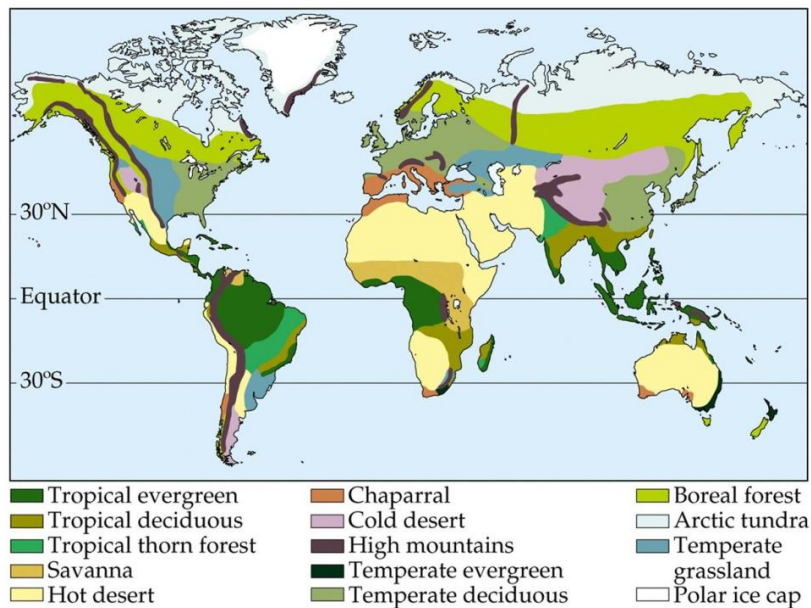


Figura 1.2. Biomas del mundo (Lomolino *et al.*, 2017).

Cifras más recientes (Pan *et al.*, 2011) estiman el carbono almacenado en los bosques de la Tierra en 862 Pg de C (1Picogramo = 1Gt) repartido en 272, 119 y 471 Pg de C para los bosques boreales, templados y tropicales, respectivamente. Con estos datos vemos la alta capacidad de absorción de C que contienen los bosques tropicales.

En otro artículo, Benjamín *et al.*, (2001) defienden la gran importancia de los bosques como sumideros de carbono. En este mismo se comenta la alta capacidad que contiene la vegetación para almacenar el carbono e incorporarlo a su estructura, gracias a la fotosíntesis. Se desarrolla la idea de llevar a cabo estudios de emisión-captura de carbono en ecosistemas forestales que presenten procesos muy dinámicos de cambio de uso del suelo. Con ello, se obtendría información más precisa y detallada del carbono absorbido por diferentes clases de vegetación y también permitiría cuantificar y predecir el comportamiento de los procesos de emisión-captura de carbono bajo diferentes usos del suelo.

Como se puede ver en los estudios mencionados anteriormente, las plantaciones forestales o bosques contienen una gran importancia a la hora de funcionar como sumidero de carbono en forma de biomasa, llegando a ser una estrategia adecuada de lucha contra el cambio climático actual. También es importante remarcar que, aunque la captura de C en forma de biomasa es una solución muy importante, esta solución solo será parcial, ya que jamás por sí misma solucionará el problema. Esto es debido a que en el mejor de los casos podrá llegar a capturar en torno al 25% del C emitido por los humanos a la atmósfera, ya que llegará el momento que no se pueda captar más C cuando todos los biomas lleguen a su máxima capacidad de carga y extensión potencial.

## 1.7. Sucesión ecológica e importancia de la producción neta de los ecosistemas (PNE)

La sucesión ecológica es un proceso por el cual un ecosistema tiende a recuperarse espontáneamente con el paso del tiempo tras haber sido destruido o alterado por una perturbación, bien natural o antrópica. Cuando la destrucción es completa, incluyendo la vegetación y el suelo, como ocurre con un ecosistema arrasado por una colada de lava, la sucesión es mucho más lenta, pues es necesario volver a crear el suelo, y la denominamos primaria. Si por el contrario, la perturbación no destruye el suelo, sino solo la vegetación, esta será más rápida y hablamos de sucesión secundaria.

La figura 1.4 recoge cómo varían los parámetros tróficos más importantes a lo largo de la sucesión primaria, desde el momento en que se establece la primera diáspora hasta que se alcanza la madurez.

La biomasa (B) es la cantidad de materia orgánica, expresada en peso seco, acumulada por unidad de superficie. Se expresa en peso seco para no sobrevalorar la biomasa de las especies suculentas, que pueden almacenar hasta un 95% de agua en su peso fresco. La biomasa vegetal de una comunidad (B), que habitualmente supone más del 99% del conjunto de la misma, crece monotónicamente a lo largo de la sucesión hasta alcanzar la madurez, momento en el que se estabiliza con el paso del tiempo.

La producción primaria bruta (PPB) o cantidad total de energía lumínica fijada por los productores en forma de biomasa, presenta un crecimiento monotónico similar al de la biomasa a lo largo de la sucesión. La producción primaria neta (PPN) o cantidad de biomasa disponible para los herbívoros que queda una vez que los productores hayan satisfecho sus necesidades metabólicas, que denominamos consumo o respiración de autótrofos (RA),  $[PPN = PPB - RA]$ , crece hasta alcanzar su máximo en algún punto de la sucesión para comenzar a decrecer en la medida que, debido a la competencia de la comunidad vegetal aumenta la RA en producir cada vez troncos más altos para poder competir por la luz y raíces más extensas y profundas para poder

competir por agua y nutrientes. Ese gasto en estructuras no fotosintéticas conlleva un gasto energético que hace disminuir la PPN.

Finalmente, el consumo de los herbívoros, también llamado respiración de los heterótrofos (RH), ocurre a expensas de la PPN, hasta que en la madurez se iguala a ella. El remanente de energía no consumido por vegetales ni por herbívoros, se denomina producción neta del ecosistema (PNE) [ $PNE = PPN - RH$ ;  $PNE = PPB - (RA + RH)$ ] y va decreciendo progresivamente hasta anularse en la madurez, momento en el que todo lo que se produce en el ecosistema se consume en el mismo. Mientras la  $PNE > 0$ , el ecosistema es inmaduro, y consecuentemente acumula biomasa con el paso del tiempo, pero cuando el ecosistema llega a la madurez, al anularse la PNE, no puede seguir acumulándose biomasa con el paso del tiempo, a no ser que los factores que delimitan la producción se alteren. Así, una  $PNE > 0$  indica el papel de sumidero (ecosistemas inmaduros), una  $PNE = 0$  indica un ecosistema maduro, que ni capta ni emite carbono en términos netos y, finalmente, una  $PNE < 0$  el papel de fuente (ecosistemas en progresivo deterioro) (Aguilera et al., 1994).

Mientras que el valor de la biomasa nos permitiría saber qué cantidad de carbono hay capturada en un ecosistema determinado (al menos, en la fracción viva de la fitomasa aérea y subterránea), el valor de la PNE nos permitiría saber cuál es el potencial de dicho ecosistema para seguir capturando biomasa con el paso del tiempo. En todo caso, llegada la madurez, el potencial de captura de carbono por parte de los ecosistemas se agota.

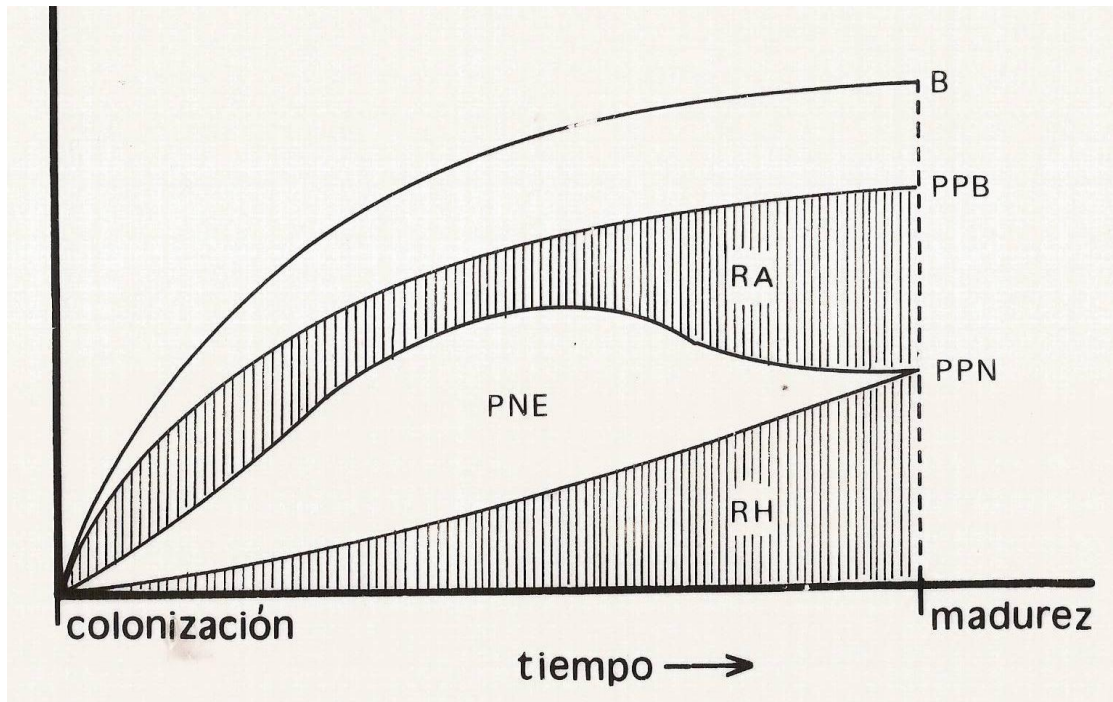


Figura 1.3. Flujo energético en una sucesión forestal. Biomasa vegetal (B), Producción primaria bruta (PPB), Producción primaria neta (PPN), Respiración de autótrofos (RA), Respiración de Heterótrofos (RH) (Aguilera *et al.*, 1994).

## 1.8. Objetivos

Los objetivos de este trabajo se centran en:

- Conocer cuál es la cantidad de biomasa aérea, subterránea, total y de carbono que almacenan en la actualidad los bosques de laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera, y
- Conocer cuál es la capacidad potencial de captura de biomasa y de carbono de la laurisilva en la madurez.



## 2. Área de estudio y la laurisilva

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio comprende las islas de La Palma (superficie: 708 km<sup>2</sup> y altitud: 2426 m.s.n.m), La Gomera (368,2 km<sup>2</sup> y 1487 m.s.n.m) y Tenerife (2082 km<sup>2</sup> y 3718 m.s.n.m).

Las figuras 2.1 y 2.2 nos ofrecen la distribución de las temperaturas medias anuales y de las precipitaciones anuales medias en dichas islas. En cada una de ellas se han seleccionado una serie de parcelas representativas de la laurisilva; 30 en la Palma (tabla 2.1 y figura 2.3) 27 en La Gomera (tabla 2.2 y figura 2.4) y 26 en Tenerife (tabla 2.3 y figura 2.5), resultando en un total de 83 parcelas.

Las figuras 2.1 y 2.2 muestran respectivamente las isotermas y las isoyetas de las islas de Tenerife, La Palma y La Gomera.

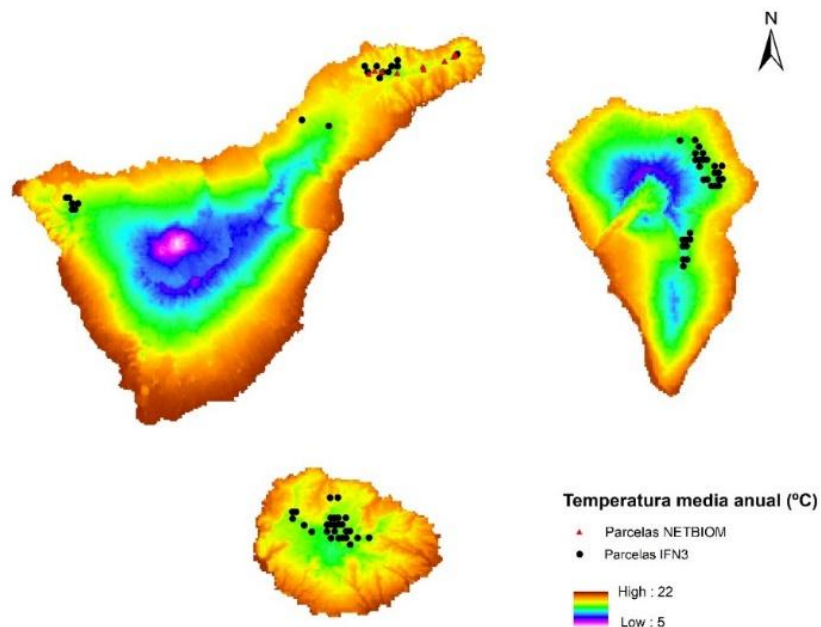


Figura 2.1. Mapa de temperatura media anual en Tenerife, La Gomera y La Palma y de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (en negro) y del proyecto NETBIOME (en rojo) (elaborado por Otto, 2021).

Con respecto al carácter de precipitaciones nos encontramos con cantidades de entre 50-500 mm anuales en zona de costas, 300-800 mm anuales en zonas de medianías y de entre 500-650 mm anuales en zona de cumbre. Es de vital importancia destacar la lluvia horizontal o de nieblas, aportando cerca de los 1200 mm anuales de precipitaciones, llegando a duplicar la cantidad de precipitación convencional anual (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

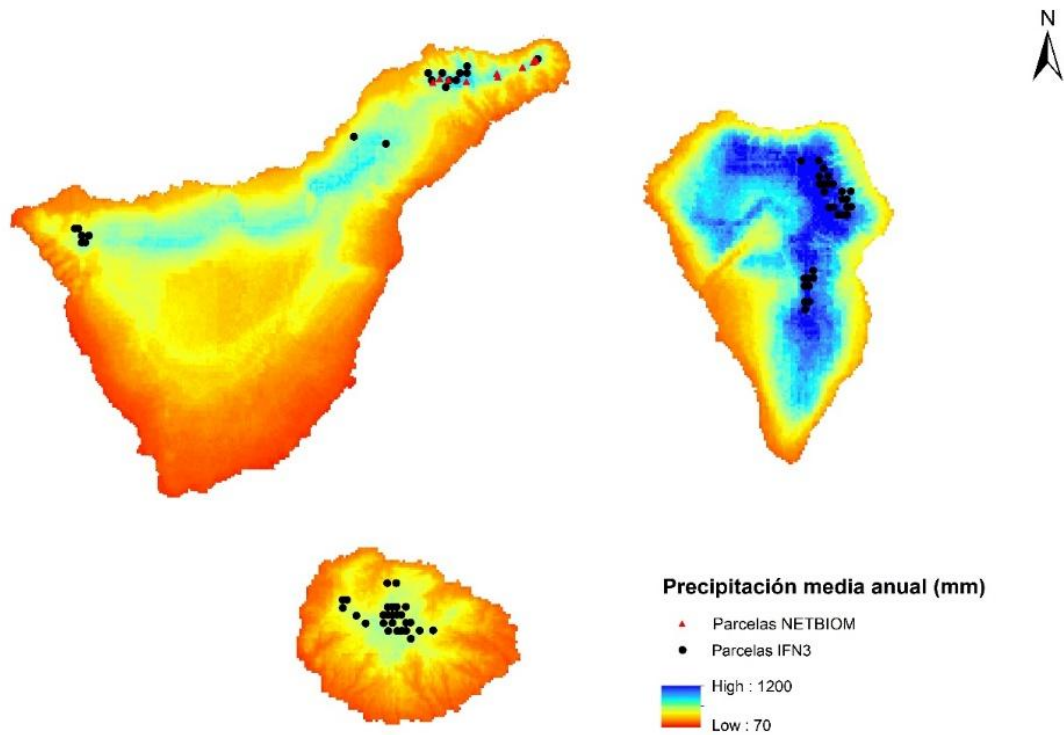


Figura 2.2. Mapa de la precipitación media anual en Tenerife, La Gomera y La Palma y de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (en negro) y del proyecto NETBIOME (en rojo). (elaborado por Otto, 2021)

La Palma						
Parcela	Coor X	Coor Y	Altitud (m)	Pendiente (grados)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
152	228334	3184120	670,4	37,7	874,0	16,3
378	224834	3174120	921,8	36,9	916,8	15,5
108	226334	3186120	1194,1	18,8	1117,8	14,0
133	229334	3185120	408,1	33,5	685,2	17,4
132	228334	3185120	731,5	29,6	806,8	16,2
14	225834	3189120	642,6	29,9	973,7	15,8
397	224334	3171120	1194,1	25,3	1039,3	14,2
93	225834	3186120	1188,6	40,5	1124,1	13,9
385	224334	3173120	1180,9	33,4	1033,5	14,4
203	228334	3182120	1106,3	21,6	928,0	14,7
173	227334	3183120	1068,8	42,9	1065,3	13,9
143	228834	3184120	768,4	24,5	946,9	16,5
175	229334	3183120	735,5	33,5	842,7	16,3
392	223834	3171120	1380,0	2,2	1089,7	14,0
402	223834	3170120	1300,0	30,5	1099,4	14,2
110	227334	3186120	917,1	28,8	995,0	15,4
130	226334	3185120	1125,0	33,1	1034,6	14,1
12	223834	3189120	1055,7	59,7	894,7	14,4
47	226334	3188120	720,0	19,0	983,1	15,9
189	227834	3182120	1180,0	5,3	1062,2	14,3
377	223834	3174120	1409,7	24,5	986,0	13,2
64	226834	3187120	910,7	31,4	1038,0	15,4
163	226834	3183120	1248,7	30,7	1057,3	14,0
381	223834	3173120	1380,0	18,1	874,3	13,6
165	228834	3183120	880,0	9,7	952,2	15,7
190	228834	3182120	954,2	36,7	915,2	15,1
380	224334	3174120	1140,4	42,5	1037,2	14,4
371	224834	3175120	879,0	35,0	840,0	14,9
94	226834	3186120	980,0	18,1	1068,2	14,9
63	225834	3187120	713,5	49,8	947,9	15,5

Tabla 2.1. Localización y datos de las diferentes parcelas localizadas en La Palma. (Elaboración propia)

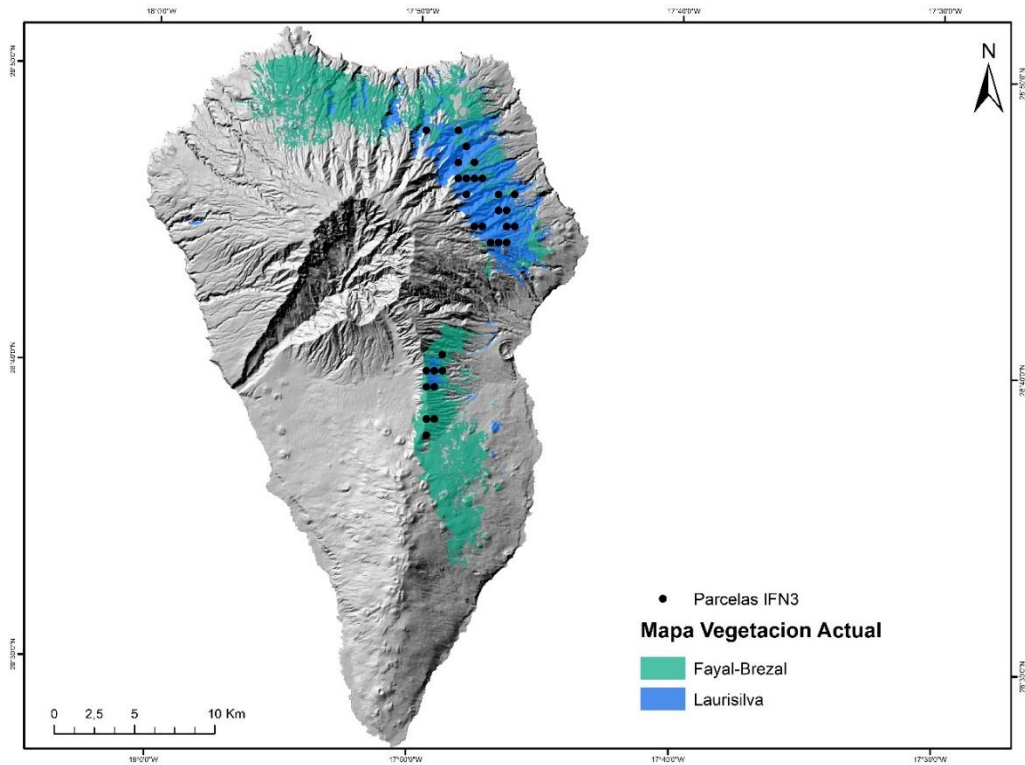


Figura 2.3. Mapa de distribución actual de la laurisilva y del fayal-brezal en La Palma y de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (basado en del Arco *et al.*, 2006.)

La Gomera						
Parcela	Coor X	Coor Y	Altitud (m)	Pendiente (grados)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
1199	279333	3116121	957,5	6,1	513,8	16,2
1219	280333	3115121	995,1	13,9	459,9	16,1
1269	281833	3112121	1069,7	15,2	451,9	15,8
1253	280833	3113121	1155,2	36,8	523,2	15,4
1242	281333	3114121	1030,2	29,9	477,3	15,6
1240	279333	3114121	492,6	40,4	381,3	17,6
1194	274334	3116121	1046,1	11,9	472,1	16,0
1262	281333	3113121	1016,8	18,2	498,1	15,6
1227	278833	3114121	1129,8	41,0	548,7	15,5
1241	280333	3114121	615,8	29,8	467,8	16,6
1189	279833	3116121	909,3	18,4	503,8	16,1
1225	276834	3114121	1000,3	16,4	459,9	15,7
1201	281333	3116121	876,7	28,6	468,2	16,2
1177	274334	3117121	935,3	18,1	498,5	16,2
1200	280333	3116121	852,9	30,7	470,4	16,2
1218	279333	3115121	960,5	10,6	494,3	16,0
1173	274834	3117121	926,9	27,6	518,2	16,1
1260	279333	3113121	1207,9	18,2	543,9	15,3
1261	280333	3113121	1215,2	14,7	560,1	15,0
1208	278833	3115121	1065,7	7,2	547,1	15,7
1230	281833	3114121	1083,3	15,4	528,1	15,7
1255	282833	3113121	825,3	22,2	452,5	16,4
1205	275834	3115121	972,5	30,6	513,1	15,9
1210	280833	3115121	956,4	24,2	518,9	15,9
1228	279833	3114121	1068,9	13,7	488,7	15,7
1209	279833	3115121	1001,0	35,3	507,5	15,8
1265	284333	3113121	991,3	37,7	499,4	15,6

Tabla 2.2. Localización y datos de las diferentes parcelas localizadas en La Gomera. (Elaboración propia)

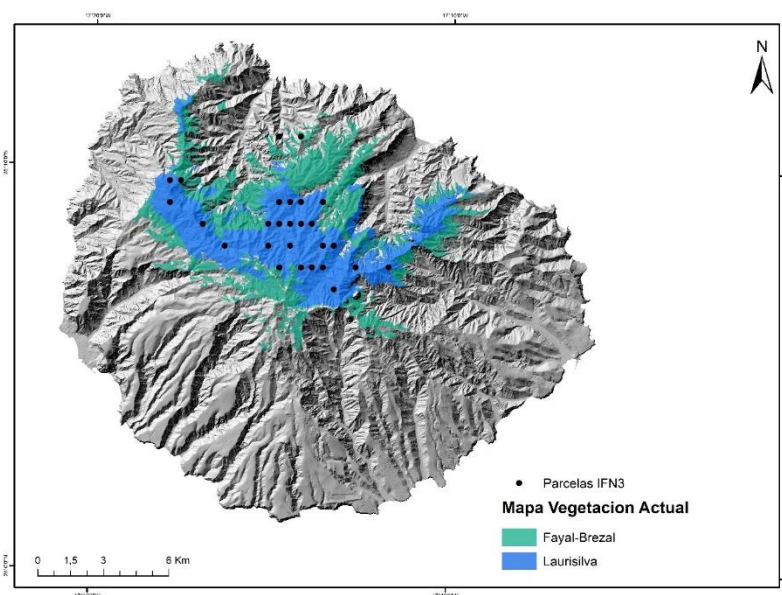


Figura 2.4. Mapa de distribución actual de la Laurisilva y del Fayal Brezal en La Gomera y de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (basado en del Arco *et al.*, 2006.)

Tenerife						
Parcela	Coor X	Coor Y	Altitud (m)	Pendiente (grados)	Precipitación media anual (mm)	Temperatura media anual (°C)
N1	371001	3156790	768,4	12,4	612,1	16,8
N4	375787	3156899	866,1	32,1	637,5	16,1
N5	380180	3157611	855,8	24,2	694,5	16,4
N2	371950	3157344	785,4	11,9	630,8	16,8
N9	385340	3160033	828,4	20,9	648,8	16,4
N3	373181	3157242	885,2	7,6	735,8	16,2
N10	385591	3159867	758,1	3,6	682,2	16,9
N6	380051	3158072	821,7	26,3	697,6	16,1
N7	383669	3158973	782,2	22,9	602,3	17,0
N8	385198	3159664	871,7	16,5	673,1	16,2
630	321333	3134120	1008,5	30,0	583,6	15,6
553	370333	3158120	679,2	27,3	571,9	16,8
520	364333	3148120	989,2	21,1	613,5	15,4
605	321333	3135120	829,4	39,6	566,2	15,9
551	374833	3158120	836,0	23,3	707,9	16,5
546	385833	3160120	796,0	29,3	648,4	16,6
515	359833	3149120	613,0	14,4	572,8	17,2
552	375833	3158120	701,5	10,9	683,7	16,5
589	320333	3136120	774,3	42,4	497,3	16,7
564	373333	3157120	919,3	2,7	735,8	16,2
618	321833	3134120	1050,9	30,9	568,6	15,3
580	320833	3136120	789,9	29,6	498,3	16,7
606	322333	3135120	881,8	37,2	537,3	15,7
557	370833	3157120	750,9	25,2	590,9	16,9
547	375833	3159120	451,7	44,5	524,7	17,7
565	374333	3157120	847,9	36,4	731,9	15,8

Tabla 2.3. Localización y datos de las diferentes parcelas localizadas en Tenerife. (Elaboración propia)

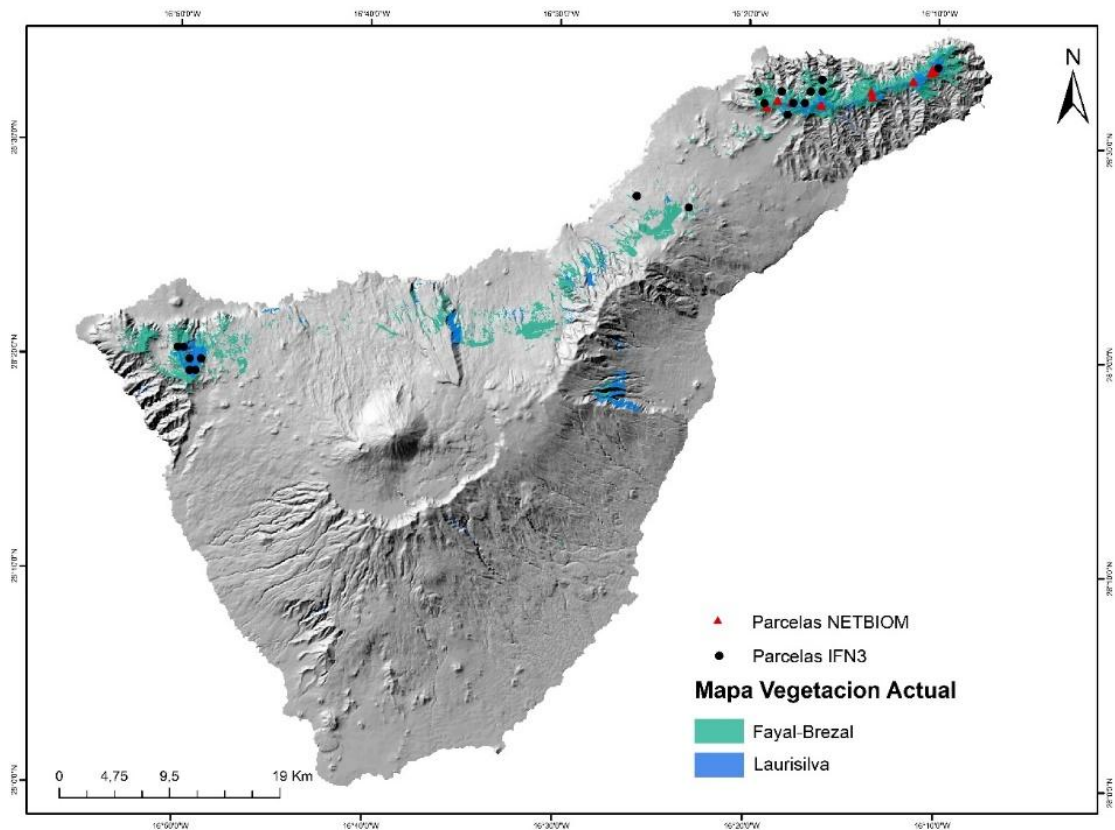


Figura 2.5. Mapa de distribución actual de la laurisilva y del fayal-brezal en Tenerife y de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (en azul) junto a las parcelas del proyecto NETBIOME (en rojo) (basado en del Arco *et al.*, 2006.)

## 2.2. La laurisilva

El término laurisilva fue descrito por primera vez por Brockmann-Jerosch y Rübél en 1912 (Rübél, 1930). Se entiende como laurisilva a todo tipo de bosque pluriestratificado, compuesto principalmente por árboles y arbustos perennifolios de hojas verdes, anchas, brillantes y lauroides y también en determinados casos compuestos por coníferas y especies caducifolias (Santos, 1990).

Estos bosques de laurisilva se desarrollan gracias a condiciones tropicales y subtropicales de elevada humedad relativa y temperaturas medias suaves, siendo zonas donde se pueden encontrar epífitos y lianas que atribuyen cierto carácter tropical al ecosistema. Se trata de un bioma que subsistió en condiciones geográficas caracterizadas por climas relícticos que se han conservado sin mayores cambios desde



el Terciario, y que apenas se observan en contadas localizaciones en el Planeta, debido a procesos de deterioro climático en latitudes altas y medias durante el Neógeno (23-2,6 Ma) y, especialmente, a las glaciaciones del Plioceno-Pleistoceno (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

En la actualidad se pueden ver manifestaciones de la laurisilva en diversas partes del mundo, estando generalmente localizadas entre los 25° y los 40° de latitud norte y sur en las fachadas orientales y occidentales de los continentes, donde ocupan las mayores extensiones. También la podemos ver en islas, pero de forma mucho más puntual. Es por ello, que se trata de selvas muy fragmentadas y alejadas entre sí y con área total no muy grande comparada con otros biomas, pero que se encuentran presentes en casi todos los reinos florísticos del planeta, con historias evolutivas muy diferentes. Debido a esto último, los diferentes relictos de laurisilva apenas comparten especies entre sí, pero poseen hasta cierto punto una estructura forestal similar.

En relación a sus características ambientales, la laurisilva puede desarrollarse bajo condiciones hídricas muy variables desde los 3000 a 5000 mm de precipitación anual media (laurisilva hiperhúmeda) hasta los 800 mm al año (laurisilva subhúmeda) y en condiciones térmicas que pueden oscilar desde veranos muy cálidos (24-28°C de media del mes más cálido) a veranos más frescos (12-16°C de media del mes más cálido) (Schroeder, 1998).

Es por ello, que el clima bajo el que se desarrolla la laurisilva, posee temperaturas suaves sin muchas variaciones anuales, aunque presentan un leve contraste térmico entre verano e invierno, diferenciándolas de la pluvisilva, y por precipitaciones abundantes bien distribuidas a lo largo del año. Un denominador común que encontramos en este bioma forestal, suele ser la ausencia tanto de heladas como también de estación seca en algún momento del año. Además, las laurisilvas se encuentran en territorios que no han sido afectados de forma importante por los efectos glaciares del Cuaternario, lo que favorece la conservación de especies muy antiguas (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

En zonas con presencia de estación seca, como son las que están caracterizadas por climas de tipo mediterráneo (inviernos húmedos y veranos secos), la laurisilva

puede subsistir en forma de bosque montano de nieblas en el amparo de estratos orográficos generados por vientos dominantes, que son retenidos en las montañas gracias a la existencia de inversiones térmicas de altitud. En estas condiciones, la distribución de la laurisilva se ve limitada a la zona de influencia de las nieblas.

En general, las laurisilvas presentan elevada diversidad arbórea, salvo en las zonas de latitudes más altas, en donde debido a las bajas temperaturas los bosques contienen una menor diversidad. La benignidad del clima y el carácter perennifolio de la mayoría de las especies permite que se mantenga durante todo el año cierta actividad fotosintética. En situaciones de condiciones hídricas y térmicas adecuadas, la estructura de la laurisilva puede competir sin problema con la de las selvas tropicales, conteniendo bóvedas que pueden alcanzar los 30-50 m de altura, bajo los que se encuentran otros estratos arbóreos y arbustivos, así como plantas trepadoras y epífitas (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

### **2.3. Tipos de laurisilva y la laurisilva macaronésica**

Schroeder (1998) distingue siete grandes tipos de laurisilva en el Planeta, establecidos en ambos hemisferios. Entre estas, nos encontramos con la laurisilva himalayo-sino-japonesa, la laurisilva macaronésica, la laurisilva norteamericana, los enclaves de laurisilva sudamericanos, la laurisilva sudafricana, el enclave del sureste australiano y el neozelandés.

La laurisilva macaronésica es el único relicto aún conservado de lo que fue la laurisilva terciaria del mar de Tetis. El carácter volcánico de los archipiélagos atlánticos ha permitido que las islas contengan importantes altitudes, generando la existencia de una amplia franja húmeda casi permanente (influenciada por los vientos alisios) en las laderas de las islas orientadas a barlovento. Las formaciones de laurisilva, pudieron sobrevivir gracias a estos vientos alisios y gracias al efecto atemperador que tiene el océano Atlántico, como también gracias a la migración altitudinal (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

La laurisilva macaronésica está representada en los archipiélagos de Azores, Madeira y Canarias, donde constituyen bosques montanos de niebla con una gran riqueza de especies arbóreas, cercana a treinta especies, la mayoría de ellas endémicas. Es la representación del mundo tropical en las Islas Canarias. Se ubica en las zonas con condiciones climáticas más adecuadas para el desarrollo de la vegetación, para ser más exactos, en condiciones sin estrés hídrico y térmico, con temperaturas medias de unos 15°C y precipitaciones verticales rondando los 1000 mm/año. Además de ello, cuenta con una precipitación horizontal u oculta, compartida con el pinar húmedo (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

En Canarias, estos bosques se disponen en las fachadas a barlovento de las islas centrales y occidentales (La Palma, El Hierro, Tenerife, La Gomera y Gran Canaria), las cuales alcanzan la altitud suficiente para ser influidos por los vientos alisios, ubicándose de esta manera, la laurisilva sobre los 500-1200 m de altitud. En Canarias, y según los trabajos de Marcelino del Arco y colaboradores (del Arco, 2006; del Arco *et al.*, 2010), se consideran las siguientes comunidades de laurisilva (tabla 2.4)

Comunidad	Árboles dominantes	Especies arbustivas
Laurisilva seca	<i>Apollonias barbujana</i> <i>Visnea mocanera</i> <i>Arbutus canariensis</i> <i>Picconia excelsa</i>	<i>Cistus symphytifolius</i> <i>Daphne gnidium</i> <i>Hypericum canariense</i> <i>Jasminum odoratissimum</i>
Laurisilva húmeda	<i>Laurus novocanariensis</i> <i>Ilex canariensis</i> <i>Heberdenia excelsa</i> <i>Ilex perado</i> ssp. <i>platyphylla</i> <i>Prunus lusitanica</i> ssp. <i>hixa</i>	<i>Viburnum rigidum</i> <i>Sambucus nigra</i> ssp. <i>palmensis</i>
Laurisilva fría	<i>Morella faya</i> <i>Erica arborea</i> <i>Morella rivas-martinezii</i> <i>Ilex canariensis</i>	<i>Pericallis</i> spp.
Laurisilva de cresterías	<i>Erica platycodon</i> ssp. <i>platycodon</i> <i>Erica arborea</i> <i>Morella faya</i>	<i>Viburnum rigidum</i>
Laurisilva higrófila	<i>Ocotea foetens</i> <i>Persea indica</i> <i>Ilex perado</i> <i>Laurus novocanariensis</i>	<i>Calcitra macrocarpa</i> <i>Diplazium caudatum</i> <i>Woodwardia radicans</i>
Fayal-breza	<i>Erica arborea</i> <i>Morella faya</i> <i>Ilex canariensis</i>	<i>Daphne gnidium</i> <i>Teline canariensis</i> <i>Chamaecytisus proliferus</i>

Tabla 2.4. Especies arbóreas dominantes de la bóveda y especies arbustivas de las diferentes comunidades de laurisilva existente en Canarias (del Arco, 2006).

Aunque en determinadas situaciones el fayal-breza puede ser climático, habitualmente constituye una comunidad de sustitución originada por la degradación antrópica de la laurisilva, encontrándose presente en todas las islas centrales y occidentales. En Gran Canaria, debido a la alta alteración ejercida por los humanos esta comunidad es incluso escasa, pero en lugares donde ha cesado la alteración humana, se recupera de forma paulatina.

En Canarias, la bóveda de la laurisilva está constituida por una veintena de géneros diferentes (Tabla 2.5).

Género	Canarias
<i>Apollonias</i>	<i>A. barbujana</i> ssp. <i>barbujana</i> <i>A. barbujana</i> ssp. <i>ceballosi</i>
<i>Arbutus</i>	<i>A. canariensis</i>
<i>Clethra</i>	<i>C. arborea</i> (¿EX?)
<i>Erica</i>	<i>E. arborea</i> <i>E. platycodon</i> ssp. <i>platycodon</i>
<i>Euphorbia</i>	<i>E. mellifera</i>
<i>Heberdenia</i>	<i>H. excelsa</i>
<i>Ilex</i>	<i>I. canariensis</i> <i>I. perado</i> ssp. <i>lopezlilloi</i> <i>I. perado</i> ssp. <i>platyphylla</i>
<i>Juniperus</i>	<i>J. cedrus</i> ssp. <i>cedrus</i>
<i>Laurus</i>	<i>L. novocanariensis</i>
<i>Morella</i>	<i>M. faya</i> <i>M. rivas-martinezii</i>
<i>Ocotea</i>	<i>O. foetens</i>
<i>Persea</i>	<i>P. indica</i>
<i>Picconia</i>	<i>P. excelsa</i>
<i>Pleiomerus</i>	<i>P. canariensis</i>
<i>Prunus</i>	<i>P. lusitanica</i> ssp. <i>hixa</i>
<i>Rhamnus</i>	<i>R. glandulosa</i>
<i>Sambucus</i>	<i>S. nigra</i> ssp. <i>palmensis</i>
<i>Sideroxylon</i>	<i>S. canariense</i>
<i>Viburnum</i>	<i>V. rigidum</i>
<i>Visnea</i>	<i>V. mocanera</i>

Tabla 2.5. Géneros más importantes de la laurisilva en Canarias (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

### 3. Métodos

En este apartado se incluirá la metodología empleada para la obtención de los resultados. En este estudio, se han realizado cálculos con diferentes ficheros de datos, obtenidos del Inventario Forestal Nacional (IFN) y del Proyecto NETBIOME.

El Inventario Forestal Nacional (IFN), se puede definir como un proyecto encaminado a conseguir el máximo de información posible sobre la situación, régimen de propiedad y protección, naturaleza, estado legal, probable evolución y capacidad productora de todo tipo de bienes de los ecosistemas arbolados españoles. Se trabaja con una unidad básica, la cual es la provincia y al tratarse de un inventario continuo se repiten las mismas mediciones cada 10 años en todo el territorio español.

El primer Inventario Forestal Nacional (IFN1) de 1973 se realizó empleando una metodología diferente a la actual, aplicando un diseño de muestreo aleatorio con parcelas temporales (Alberdi *et al.*, 2016) (Tabla 3.1). En el segundo Inventario Forestal Nacional (IFN2) de 1997 se introdujeron las técnicas de los Sistemas de Información Geográficas (SIG) y se cambió a un muestro sistemático. En el Inventario IFN3 de 2007 se incorporan nuevos indicadores para estudiar la composición, estructura y funcionalidad de los sistemas forestales. El sistema de muestreo en el IFN2 y en adelante es sistemático con una malla de UTM 1 x 1 km. No obstante, en Canarias se ha aplicado una malla más estrecha de 500 x 500 m por las particularidades de las islas como distribución reducida de los ecosistemas y los gradientes ambientales pronunciados.

Inventario	Ciclo	Estratificación	Parcelas de muestreo	Nº de parcelas
IFN-1	1965-1974	Malla variable en cada provincia, sobre fotografías aéreas	Afijación óptima. Parcelas temporales	65.000
IFN-2	1986-1996	Malla sobre el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, Escala 1:50.000	Malla UTM 1 km x 1 km. Parcelas permanentes	84.203
IFN-3	1997-2007	Malla sobre el Mapa Forestal de España, escala 1:50.000 (MFE 50)	Malla UTM 1 km x 1 km. Parcelas permanentes. Repetición de parcelas. Parcelas remedidas aprox. 85%	95.327
IFN-4	2008-	Malla sobre el Mapa Forestal de España, escala 1:25.000 (MFE 25)	Malla UTM 1 km x 1 km. Parcelas permanentes. Repetición de parcelas.	aprox. 96.000

Tabla 3.1. Características de los Inventarios Forestales Nacionales IFN (Alberdi *et al.*, 2016).

Las parcelas del IFN3 son circulares con tamaño distinto según estrato de vegetación con radio de 5 m (área = 78,5 m<sup>2</sup>) para especies herbáceas y helechos; radio de 10 m (314 m<sup>2</sup>) para especies no arbóreas (arbustos); radio de 15 m (706,5 m<sup>2</sup>) para la madera muerta y radio de 25 m (1962,5 m<sup>2</sup>) para las especies arbóreas (Figura 3.1)

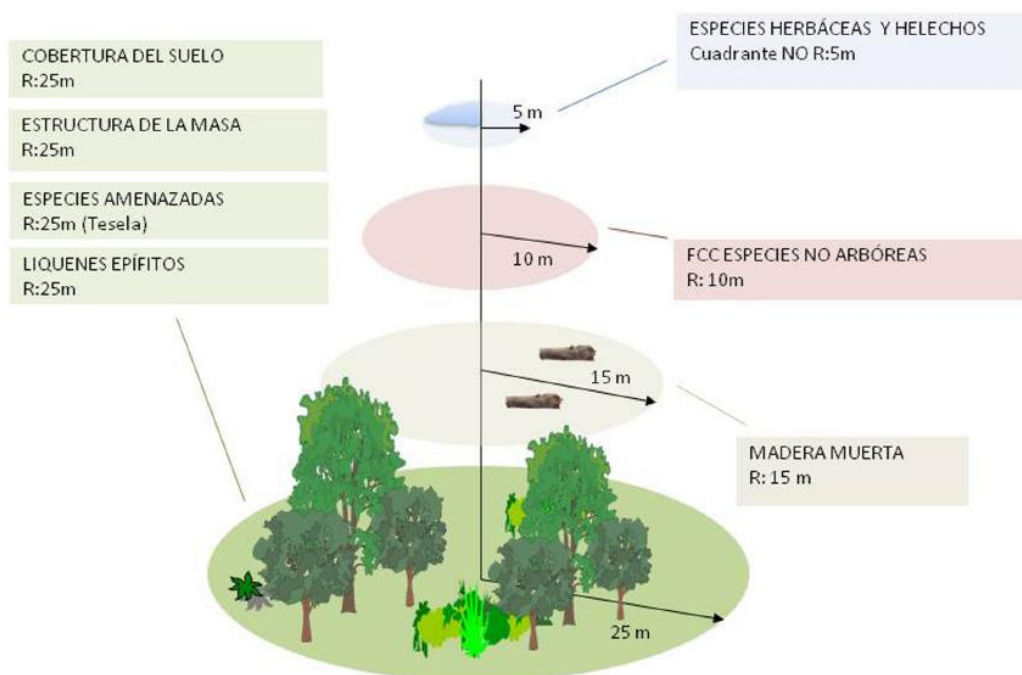


Figura 3.1. Diseño de muestreo de las variables medidas en el campo en el IFN3 (Alberdi *et al.*, 2016).

En los inventarios realizados, se recopilan datos como las coordenadas de la parcela, el tipo de ecosistema, número de individuos y especie, DBH y altura de los individuos (pies mayores con DBH > 7,5 cm). La selección de los pies mayores en la tabla de dendrometría se basa en función de la distancia al centro y del DBH de los pies de la siguiente forma:

1. En distancias  $\leq 5$  metros; pies con diámetro medio  $\geq 75$ mm.
2. En distancias  $>5$  metros y  $\leq 10$  metros; pies con diámetro medio  $\geq 125$ mm.
3. En distancias  $>10$  metros y  $\leq 15$  metros; pies con diámetro medio  $\geq 225$ mm.
4. En distancias  $>15$  metros y  $\leq 25$  metros; pies con diámetro medio  $\geq 425$ mm

Los individuos de clase 1 sólo se recoge dentro de un círculo de radio 5 m, los de clase 2 dentro un círculo de radio 10 m, los de clase 3 dentro un círculo de radio 15 m y los de clase 4 en toda la parcela con radio 25 m. Por lo tanto, para los cálculos de biomasa y carbono los valores obtenidos con las ecuaciones alométricas hay que multiplicar aplicando los siguientes factores de corrección para obtener la biomasa por unidad de superficie.

Clase 1: factor 25

Clase 2: factor 6,25

Clase 3: factor 2,78

Clase 4: factor 1

Con estos datos, obtenemos resultados de parámetros como son biomasa aérea, subterránea y total, de las que se pueden derivar fácilmente la cantidad de carbono y dióxido de carbono capturado en las diferentes parcelas. Hemos estudiado un total de 83 parcelas del IFN3 de la Provincia de Santa Cruz de Tenerife, en concreto de las islas de Tenerife, La Palma y La Gomera, contribuyendo cada una con 26, 30 y 27 parcelas, respectivamente.

Por otra parte, el proyecto NETBIOME fue un proyecto patrocinado por la Unión Europea entre los años 2012-2015 en el Marco del programa NETBIOME para regiones ultraperiféricas, en el cual participaron equipos de investigadores de Canarias, Azores y de la isla de La Reunión en el océano Índico. Las parcelas analizadas en este caso son diez y pertenecen todas al macizo de Anaga. Son parcelas cuadradas



de 50 x 50 m (área = 2500 m<sup>2</sup>), ubicadas en diferentes ambientes de laurisilva, pero teniendo en cuenta lugares en donde los signos de degradación humana fueran mínimos. En estas parcelas se tomaron coordenadas UTM, orientación, altitud, tipo de vegetación, adscripción específica y DBH de los individuos (DBH > 10 cm, no hay factor de corrección) de todas las especies arbóreas existentes, así como las especies integrantes del sotobosque, regeneración en parcelas de 2 metros de lado en cada esquina y necromasa depositada en forma de hojarasca.

### 3.1. Cálculos del stock y del incremento de la biomasa

Para calcular la biomasa de cada individuo aplicamos las ecuaciones alométricas específicas presentadas por Montero *et al.*, (2006) que se basan en el diámetro a altura de pecho (DBH en cm), mediante la siguiente ecuación:

$$\text{biomasa aérea seca (kg)} = \text{CF} \times e^a \times \text{DBH (cm)}^b$$

siendo:

CF: el factor de corrección, calculado como  $e^{(\text{SEE}-\text{SEE})/2}$

SEE: el error estándar de la estima

a y b: coeficientes alométricos propios de cada especie

A la biomasa aérea seca habrá que añadirle la subterránea para conocer la biomasa total del individuo (B total). Montero *et al.*, (2006) también proporcionan la fracción que supone la biomasa aérea sobre la total. El contenido de carbono de la biomasa seca se aproxima con un 50%.

En el caso de las parcelas IFN3 aplicamos las ecuaciones alométricas específicas para cuatro especies de la laurisilva (*Erica arborea*, *Morella faya*, *Ilex canariensis* y *Laurus novocanariensis*), así como una ecuación alométrica genérica para el resto de las especies arbóreas de la laurisilva (Tabla 3.2). Además, existen también ecuaciones para las dos especies exóticas que aparecen en los inventarios (*Eucalyptus globulus* y *Castanea sativa*). En este trabajo nos centramos en las especies arbóreas de la

laurisilva utilizando los datos de los pies mayores del IFN3 y de los datos de los inventarios NETBIOME.

Especie	a	b	Error estándar de la estima (SEE)	Proporción Peso seco aéreo/subterráneo (%)	Densidad de la madera (g/cm <sup>3</sup> )	% Carbono en madera
<i>Erica arborea</i>				69,3/30,7	0,619	50,0
<b>B aérea total</b>	-0,949661	2,00644	0,316307			
<b>B fuste</b>	-1,8135	2,05303	0,329246			
<i>Morella faya</i>				61,0/39,0	0,745	50,0
<b>B aérea total</b>	-1,17881	2,18018	0,208418			
<b>B fuste</b>	-1,67388	2,02138	0,336921			
<i>Laurus novocanariensis</i>				71,6/28,4	0,627	50,0
<b>B aérea total</b>	-1,92595	2,49131	0,180460			
<b>B fuste</b>	-2,96854	2,57608	0,221931			
<i>Ilex canariensis</i>				60,5/39,5	0,888	50,0
<b>B aérea total</b>	-0,637183	1,96456	0,226602			
<b>B fuste</b>	-1,17012	1,93218	0,300507			
<b>Otras sp. de laurisilva</b>				67,6/32,4		50,0
<b>B aérea total</b>	-1,36216	2,2664	0,021902			
<b>B raíz</b>	-1,38356	2,05614	0,037231			
<i>Eucalyptus globulus</i>				66,9/33,1	0,500	47,5
<b>B aérea total</b>	-1,33002	2,19404	0,157850			
<b>B fuste</b>	-2,20421	2,38196	0,196830			
<i>Castanea sativa</i>				53,5/46,5	0,590	48,4
<b>B aérea total</b>	-1,70831	2,21544	0,223169			
<b>B raíz</b>	-3,97491	2,83892	0,142565			

Tabla 3.2. Ecuaciones alométricas específicas utilizadas para calcular la biomasa de las especies de la laurisilva en Tenerife, La Palma y La Gomera (Montero *et al.*, 2006).

Por otra parte, el incremento de la biomasa aérea para cada individuo se calcula multiplicando el incremento anual del volumen maderable con corteza (IAVC, expresado en  $\text{dm}^3$ ) que aporta el IFN3, multiplicado por un factor de expansión específico para cada especie (BEFD, expresado en  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) (MITECO, 2021), según la siguiente ecuación:

$$\text{Incremento en Biomasa aérea (t/ha)} = \text{IAVC (dm}^3\text{)} \times \text{BEFD} / 1000$$

## 4. Resultados

En este apartado, se expondrán los resultados del análisis de las diferentes parcelas de las islas de La Palma, La Gomera y Tenerife, respecto a la acumulación de biomasa y de carbono, el incremento anual de la biomasa y de carbono, así como el reparto de la biomasa entre las especies que componen la comunidad. Además, se analizan las relaciones entre las condiciones ambientales de la laurisilva y la biomasa para facilitar la interpretación de los patrones la distribución de biomasa entre islas.

### 4.1. Acumulación de biomasa. La laurisilva como depósito de carbono

En la tabla 4.1, se muestra información sobre la biomasa aérea media, biomasa subterránea media y biomasa total media, expresadas en toneladas por hectárea de las diferentes parcelas de las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. Se puede observar que la laurisilva en La Gomera acumula un 50% más de biomasa comparada con la de La Palma y Tenerife.

Islas	Promedio Biomasa aérea (t/ha)	Promedio Biomasa subterránea (t/ha)	Promedio Biomasa total (t/ha)
La Palma (n=30)	245,4	127,0	372,5
Tenerife (n=26)	256,3	123,8	380,2
La Gomera (n=27)	382,2	200,5	582,7

Tabla 4.1. Promedio de biomasa aérea, subterránea y total en t/ha en las parcelas de La Palma, Tenerife y La Gomera. (Elaboración propia)

En la tabla 4.2 se expresa la cantidad media de biomasa aérea, subterránea y total, expresada de nuevo en toneladas por hectárea, de las diez parcelas más maduras (es decir, con los valores más altos de biomasa) de la laurisilva de las islas analizadas. En este caso, los valores de la biomasa aérea de la laurisilva madura son otra vez muy parecidos para Tenerife y La Palma, mientras que el valor de La Gomera es 44% más alto y se acerca al valor de 500 toneladas por hectárea, lo que equivale a 250 toneladas de carbono almacenado por hectárea o 917 toneladas capturadas de CO<sub>2</sub>. La biomasa

total almacenada por la laurisilva de La Gomera alcanza 740 t/ha, o 370 t/ha de carbono total.

Islas	Biomasa aérea (t/ha)	Biomasa subterránea (t/ha)	Biomasa total (t/ha)
La Palma (n=10)	341,9	175,4	517,2
Tenerife (n=10)	354,6	172,0	526,6
La Gomera (n=10)	490,8	251,4	742,2

Tabla 4.2. Promedio de biomasa aérea, subterránea y total en t/ha en 10 parcelas maduras en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. (Elaboración propia)

Islas	Carbono en biomasa aérea (t/ha)	Carbono en biomasa subterránea (t/ha)	Carbono en biomasa total (t/ha)
Todas las parcelas			
La Palma (n=30)	122,7	63,5	186,2
Tenerife (n=26)	128,2	61,9	190,1
La Gomera (n=27)	191,1	100,2	291,3
10 parcelas maduras			
La Palma (n=10)	170,9	87,7	258,6
Tenerife (n=10)	177,3	86,0	263,3
La Gomera (n= 10)	245,4	125,7	371,1

Tabla 4.3. Promedio de carbono almacenado en biomasa aérea, subterránea y total en t/ha en todas las parcelas y en las 10 parcelas (plots) maduras en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. (Elaboración propia)

Por su parte, en la figura 4.1, se muestran los diferentes porcentajes de biomasa que acumulan las diferentes especies de laurisilva en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. Así, de esta manera se observa qué especies contribuyen con mayor cantidad de biomasa en cada una de las islas analizadas.

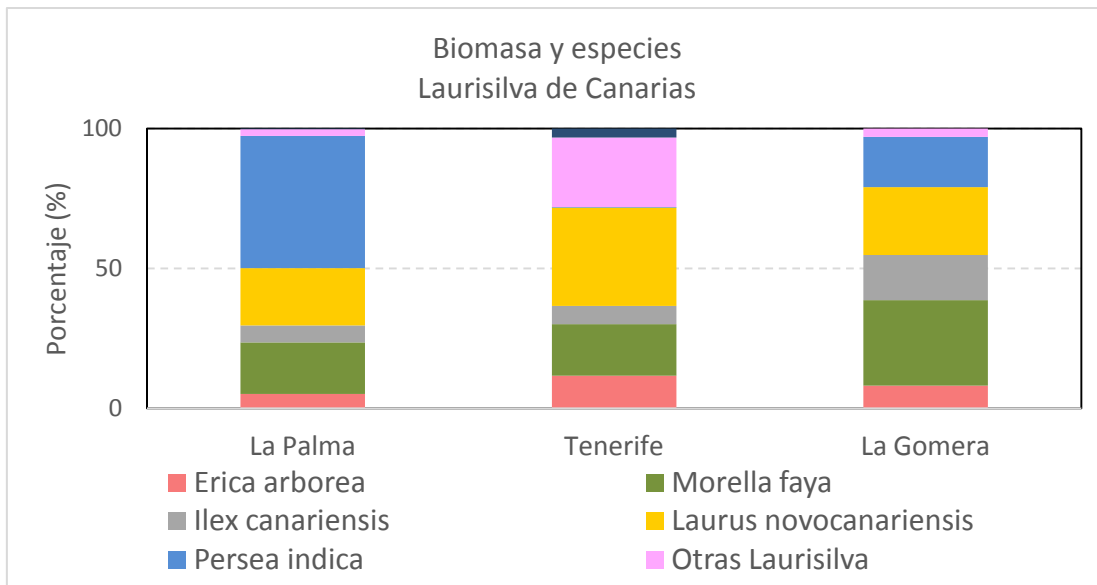


Figura 4.1. Porcentajes de biomasa acumulados por las diferentes especies de laurisilva en las zonas de estudio de las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. (Elaboración propia)

En las parcelas analizadas de La Palma *Persea indica* contribuye con casi la mitad de la biomasa, seguida por *Laurus novocanariensis* y *Morella faya*, mientras el *Erica arborea* y otras especies obtienen porcentajes entre 2 y 5 %. En las parcelas analizadas de Tenerife, el *Laurus novocanariensis* contribuye con un tercio de la biomasa, seguido por *Morella* y otras especies como *Erica platycodon*, que es especialmente abundante en el Macizo de Anaga. Hay que destacar que *Erica arborea*, una especie pionera de la laurisilva, alcanza casi un 12% de la biomasa en esta isla, el valor más alto de las tres islas estudiadas. Tenerife, es la única isla donde aparecen árboles exóticos (*Eucalyptus globulus* y *Castanea sativa*) en algunas parcelas estudiadas, pero con una escasa contribución a la biomasa de la comunidad. En las parcelas analizadas de La Gomera, existe un reparto más equilibrado de la biomasa entre especies, cuatro de ellas (*Laurus novocanariensis*, *Persea indica*, *Ilex canariensis* y *Morella faya*) acumulando el 90% de la biomasa.

La figura 4.2 muestra el porcentaje del número de individuos en las diferentes clases de DBH dentro de las parcelas estudiadas en cada una de las islas, lo que nos informa acerca de la estructura de la comunidad. Se puede apreciar que las parcelas de La Gomera contienen en torno a un 20% de los individuos en la clases de DBH más grandes (DBH > 42,5 cm) lo que significa que en muchas parcelas estudiadas existen

individuos muy grandes. En el caso de las parcelas de Tenerife se observa un patrón muy distinto, ya que se observan muy pocos individuos con clases de DBH grandes (DBH > 42,5 cm), presentando el 80 % de los individuos DBH pequeños (DBH ≤ 22,5 cm). La Palma, en su caso, se parece más a las parcelas estudiadas de Tenerife, pero contiene más individuos de clases de DBH intermedias (22,6 cm < DBH ≤ 42,5 cm) e individuos grandes (DBH > 42,5 cm).

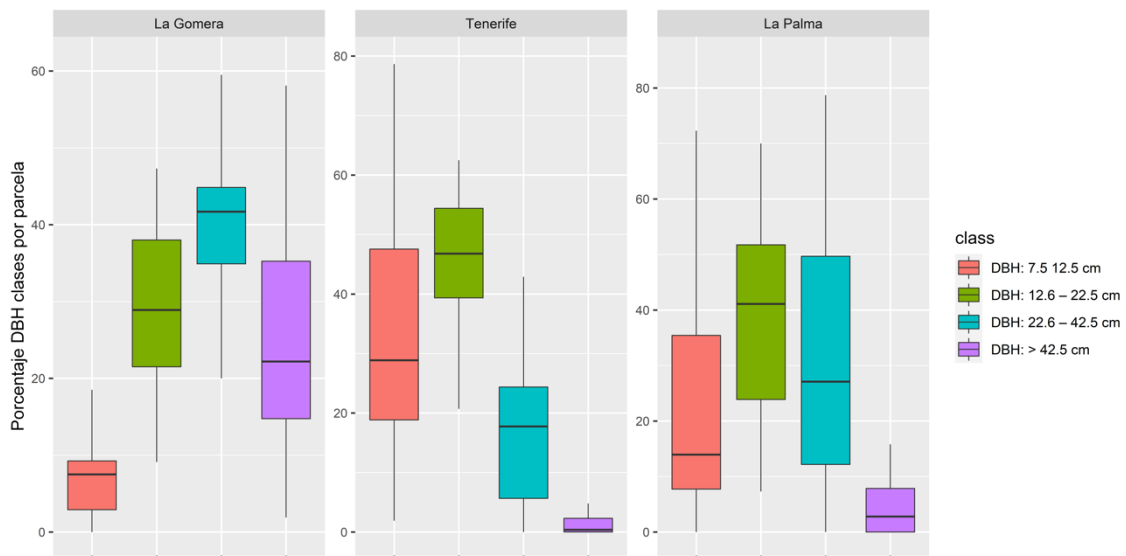


Figura 4.2. Porcentaje de individuos en las diferentes clases de DBH por parcela en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera (Elaboración propia).

La figura 4.3 revela el porcentaje de biomasa acumulada por los individuos en las diferentes clases de DBH dentro de las parcelas estudiadas en cada una de las islas. Las islas de Tenerife y La Gomera muestran dos patrones claramente opuestos. En Tenerife, la biomasa está representada por numerosos individuos jóvenes con DBH < 22,5 cm, mientras que existe una disminución del porcentaje de biomasa por clase DBH con el aumento del DBH. Por su parte, en La Gomera la biomasa de la laurisilva está acumulada por los grandes individuos, especialmente por los individuos de DBH > 42,5 cm. Los individuos de esta clase (el 20 % del total del número de individuos por parcelas) representa casi un 40% de la biomasa total de la parcela. Por lo tanto, se observa un incremento de la importancia de acumulación de biomasa por clase de DBH con el incremento del DBH. Los individuos jóvenes de la primera clase de DBH (< 12,5

cm), no son abundantes en las parcelas en La Gomera y apenas aportan a la biomasa total de la comunidad. Los inventarios de La Palma indican otro patrón con una distribución unimodal de la biomasa según clases DBH con un máximo entre valores de DBH entre 12,6 y 42,5 cm.

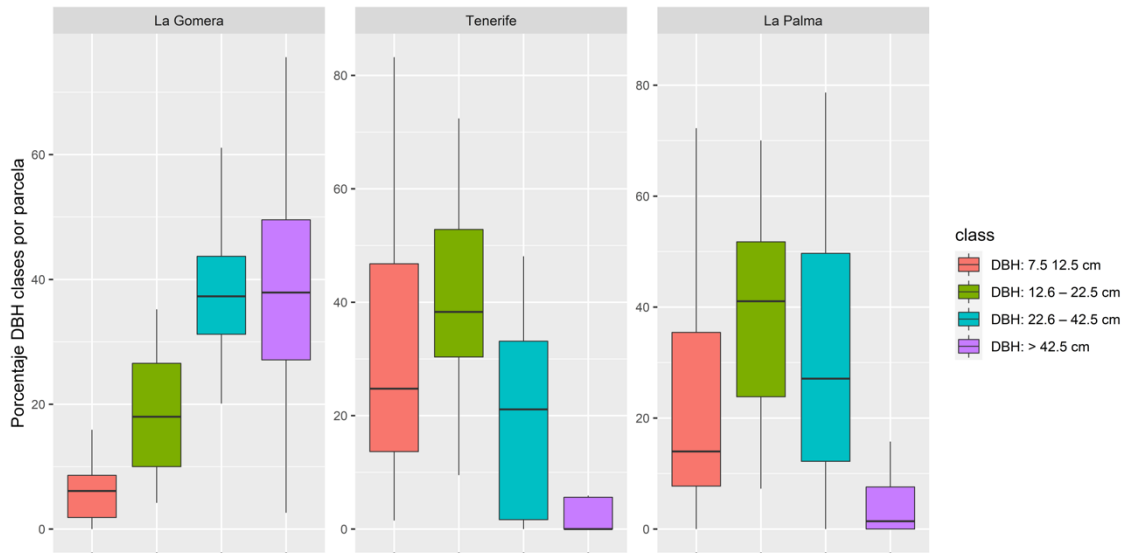


Figura 4.3. Porcentajes de biomasa acumulada por los individuos en las diferentes clases de DBH por parcela en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera (Elaboración propia).

Para calcular el tamaño del depósito de carbono que representa la laurisilva en cada isla, es necesario conocer primero la superficie actual que ocupa este ecosistema en cada isla. En la tabla 4.4 se observa el área actual y potencial (en hectáreas) de la laurisilva y del fayal-brezal en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera (del Arco *et al.*, 2010). En La Palma y La Gomera existen actualmente en torno a 4.500 ha de laurisilva en cada isla, mientras en Tenerife se puede encontrar todavía unas 2.760 ha de laurisilva, lo que da una suma para las tres islas de unas 12.000 ha o 120 km<sup>2</sup>.



	Actual			Potencial
	Laurisilva + Fayal-Brezal	Laurisilva	Laurisilva %	Laurisilva
La Palma	14.821	4.749	19,3	24.617
Tenerife	12.149	2.758	5,8	47.460
La Gomera	8.820	4.489	35,1	12.805
Total	35.790	11.996	14,1	84.882

Tabla 4.4. Área actual y potencial (en hectáreas) de la laurisilva y faya-brezal en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera (del Arco *et al.*, 2010).

Multiplicando el área de distribución de estas comunidades por el valor de biomasa acumulada por hectárea podemos calcular ahora los depósitos de biomasa y de carbono que representa la laurisilva en estas islas (tabla 4.5). A pesar de que La Palma y La Gomera tienen casi la misma área actual de laurisilva, La Gomera almacena mucho más carbono (860 mil toneladas) por esta formación forestal comparado con La Palma (580 mil toneladas). No obstante, si incluimos el fayal-brezal en el cálculo, las diferencias entre islas como depósito de carbono son menores gracias a la abundancia de fayal-brezal en La Palma y Tenerife. Fijándonos en el área potencial, la laurisilva tiene un gran potencial de almacenamiento de carbono con casi 12 Mt en las tres islas sin tener en cuenta la madurez del ecosistema, la cual podría aumentar con el tiempo sobre todo en las islas de La Palma y Tenerife.

	Biomasa aérea			Carbono		
	Actual		Potencial	Actual		Potencial
	Laurisilva + Fayal-Brezal	Laurisilva	Laurisilva	Laurisilva + Fayal-Brezal	Laurisilva	Laurisilva
La Palma	3.637.780	1.165.631	6.042.185	1.818.890	582.815	3.021.092
Tenerife	3.113.900	706.901	12.164.434	1.556.950	353.450	6.082.217
La Gomera	3.371.289	1.715.841	4.894.485	1.685.644	857.920	2.447.242
Total	10.122.969	3.588.372	23.101.104	5.061.484	1.794.186	11.550.552

Tabla 4.5. Biomasa aérea y carbono almacenado (en toneladas) en la laurisilva (Laurisilva y Faya-Brezal) en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera (Elaboración propia)

## 4.2. Incremento anual de biomasa. La laurisilva como sumidero de carbono

El inventario forestal nacional (IFN) no solo nos facilita la posibilidad de calcular la biomasa acumulada y de carbono almacenado en los bosques canarios en un momento dado, sino también el obtener datos sobre el incremento anual de biomasa o carbono de las comunidades forestales a través del cálculo del incremento de volumen maderable de cada individuo. Como se aprecia en la figura 4.4 el incremento anual del volumen maderable (IAVC, expresado en  $\text{dm}^3$ ) se calcula en el Inventario Forestal Nacional (IFN3) con una ecuación polinómica de tercer grado con el DBH medio (expresado en cm) como variable independiente. Es decir, al principio del crecimiento de un árbol, el volumen maderable crece de forma exponencial, a partir de un DBH de 40 cm el crecimiento se vuelve lineal hasta llegar a un máximo en torno a un DBH de 130 cm, para disminuir posteriormente para árboles muy grandes.

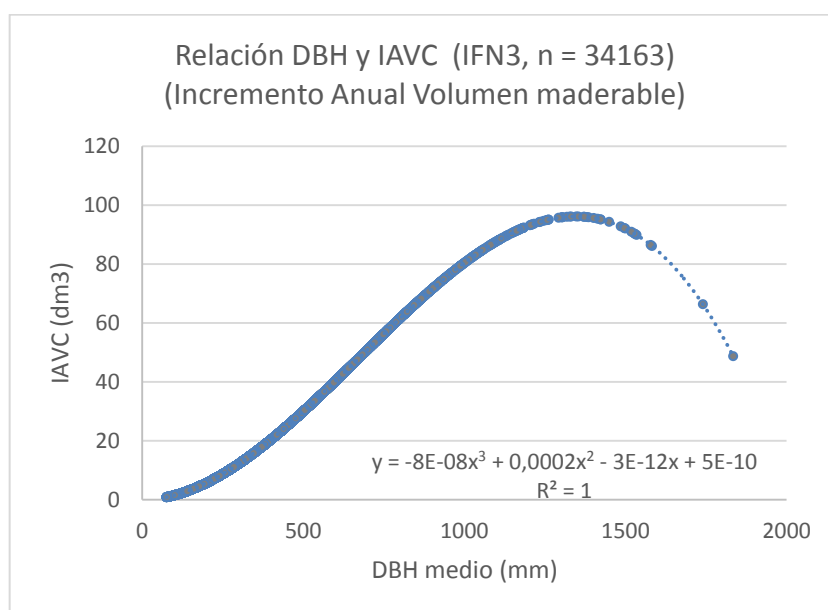


Figura 4.4. Incremento Anual del Volumen maderable (IAVC) calculado en el Inventario Forestal Nacional (IFN3) con una ecuación polinómica de tercer grado con el DBH medio como única variable independiente. (elaboración propia a partir de datos del IFN3).

No obstante, el volumen maderable (VCC) se calcula basándose en el DBH y la altura de cada individuo con ecuaciones específicas para cada especie. En la figura 4.5,

se muestra la relación entre el volumen maderable (VCC) y el incremento anual del volumen maderable (IAVC) para todos los individuos de todas las especies arbóreas inventariadas en el IFN3 de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Se observa la misma curva unimodal con un incremento para individuos jóvenes, un máximo de crecimiento para individuos maduros y una disminución del crecimiento en la vejez de los árboles.

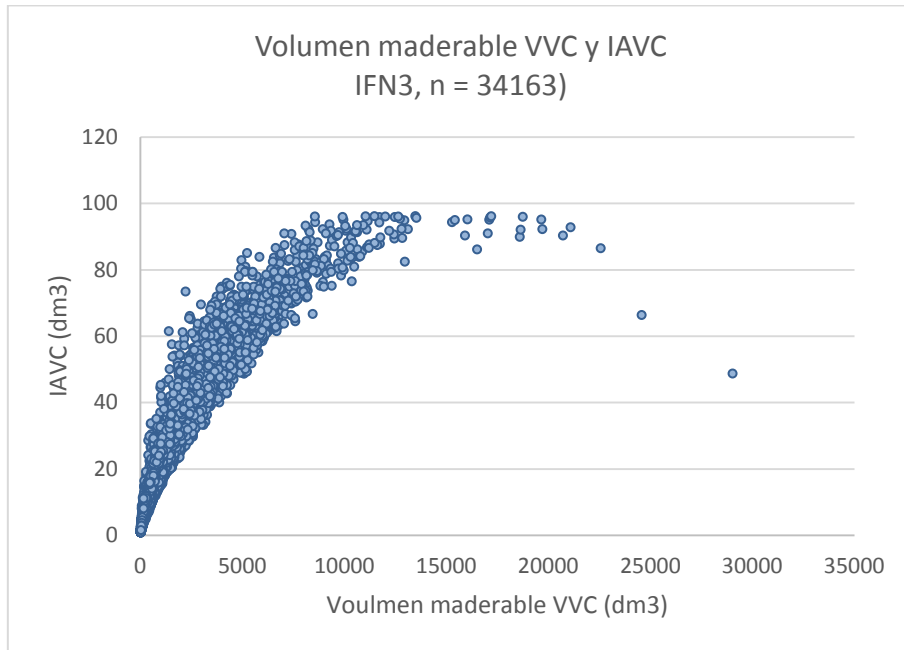


Figura 4.5. Relación entre el volumen maderable (VCC) y el incremento anual del volumen maderable (IAVC) para todos los individuos de todas las especies arbóreas inventariadas en el IFN3 de la provincia de Santa Cruz de Tenerife. (elaboración propia a partir de datos del IFN3)

Si nos fijamos en el porcentaje que supone el IAVC sobre el VCC (figura 4.6), es decir, el porcentaje que crece un individuo en volumen durante un año, observamos una relación que sigue una función potencial con exponente negativo. Los individuos jóvenes pueden aumentar su volumen entre 5 y 10% al año, mientras que los individuos muy viejos aumentan su volumen en apenas un 0,1%.

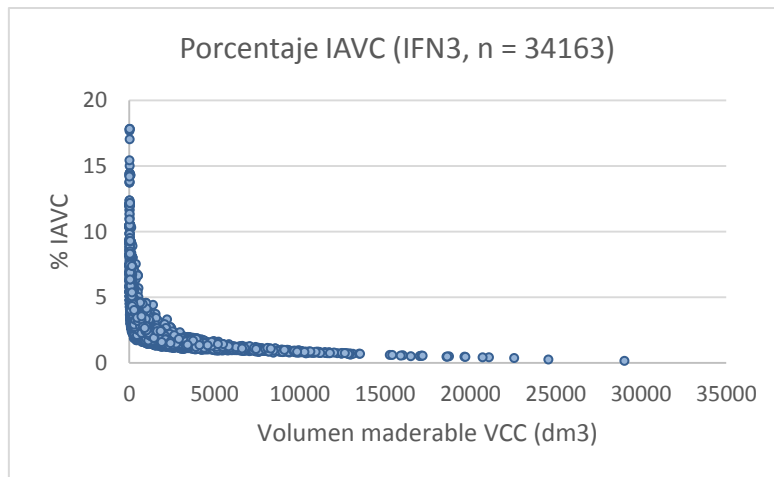


Figura 4.6. Relación entre el volumen maderable (VCC) y el porcentaje del incremento anual del volumen maderable (IAVC) para todos los individuos de todas las especies arbóreas inventariadas en el IFN3 de la provincia de Santa Cruz de Tenerife (elaboración propia a partir de datos del IFN3).

Si transferimos estos cálculos a nuestras parcelas de laurisilva (véase métodos), podemos observar que las comunidades de laurisilva en La Gomera secuestran casi 4 toneladas de biomasa seca por hectárea y año, lo que equivale a 2 toneladas de carbono (Tabla 4.6). Para la laurisilva de La Palma serían 2,4 t/ha año de biomasa o 1,2 t/ha año de carbono y en Tenerife aumentaría la biomasa 1,6 t/ha año, lo que supone 0,8 t/ha año de carbono. Aunque la laurisilva de Tenerife es capaz de acumular gran cantidad de biomasa, especialmente en sus comunidades más maduras (véase capítulo anterior), absorbe menos carbono por hectárea al año comparada con las otras dos islas, probablemente debido al gran número de individuos jóvenes que dominan la estructura de su comunidad. En relación con la biomasa acumulada por hectárea, la laurisilva de La Palma es capaz de secuestrar la misma cantidad de carbono (1% de la biomasa acumulada) que la de La Gomera pero un 60% más que la de Tenerife (0,6%).

	Biomasa aérea (t/ha)	Cambio en Biomasa aérea (t/ha)	Cambio en Biomasa aérea (%)	Cambio en carbono en Biomasa aérea (t/ha)
La Palma (n = 30)	245	2,37	0,97	1,19
Tenerife (n = 26)	256	1,57	0,61	0,79
La Gomera (n =27)	382	3,89	1,02	1,94
Promedio (n = 83)	295	2,61	0,87	1,31

Tabla 4.6. Promedio de la biomasa aérea t/ha, el cambio en biomasa aérea t/ha año (y en porcentaje %) y el cambio de la cantidad de carbono almacenada en las parcelas de laurisilva en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. Dado que el IAVC se calcula con datos del IFN3, las parcelas de NETBIOM no están incluidas en esta comparación y Tenerife cuenta solo con 16 parcelas. (Elaboración propia)

Ahora podríamos preguntarnos cuánto carbono puede secuestrar la masa forestal de laurisilva en toda una isla al año, lo que nos indicaría su capacidad como sumidero de carbono. Para obtener una respuesta tenemos que multiplicar el área que ocupa la laurisilva en cada isla por el incremento anual de biomasa o carbono por hectárea. En la tabla 4.7 están representadas las cantidades de biomasa aérea y de carbono secuestradas por año por la laurisilva (Laurisilva y Faya-Brezal) en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera. La laurisilva de La Gomera es capaz de absorber 8.731 toneladas de carbono al año, cuatro veces más que la de Tenerife, mientras la de La Palma puede secuestrar 5.636 t. Para las tres islas conjuntamente, serían 16.500 t (Laurisilva) y 44.300 t (Laurisilva + Faya-Brezal) de carbono secuestrado al año lo cual supondría unas 60.500 t y 162.500 t de dióxido de carbono, respectivamente.

Si nos fijamos otra vez en el área potencial, este bosque podría secuestrar hasta casi 100.000 toneladas de carbono al año en las tres islas estudiadas, lo cual equivaldría aproximadamente a unas 367.000 t de dióxido de carbono.

	Biomasa aérea			Carbono		
	Actual		Potencial	Actual		Potencial
	Laurisilva + Faya-Brezal	Laurisilva	Laurisilva	Laurisilva + Faya-Brezal	Laurisilva	Laurisilva
La Palma	35.180	11.272	58.432	17.590	5.636	29.216
Tenerife	19.112	4.339	74.663	9.556	2.169	37.331
La Gomera	34.310	17.462	49.811	17.155	8.731	24.906
Total	88.602	33.073	182.905	44.301	16.537	91.453

Tabla 4.7. Biomasa aérea y carbono secuestrado (en toneladas) por año en la laurisilva (Laurisilva y Faya-Brezal) en las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera (Elaboración propia).

### 4.3. Condiciones ambientales y biomasa

En la figura 4.7 se establece la relación entre la biomasa aérea en toneladas por hectárea y la precipitación media anual en mm registrada en las parcelas maduras de la laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera. Se observa una disminución de la biomasa con el aumento de la precipitación. Se trata de un patrón inesperado que trataremos de interpretar en la discusión.

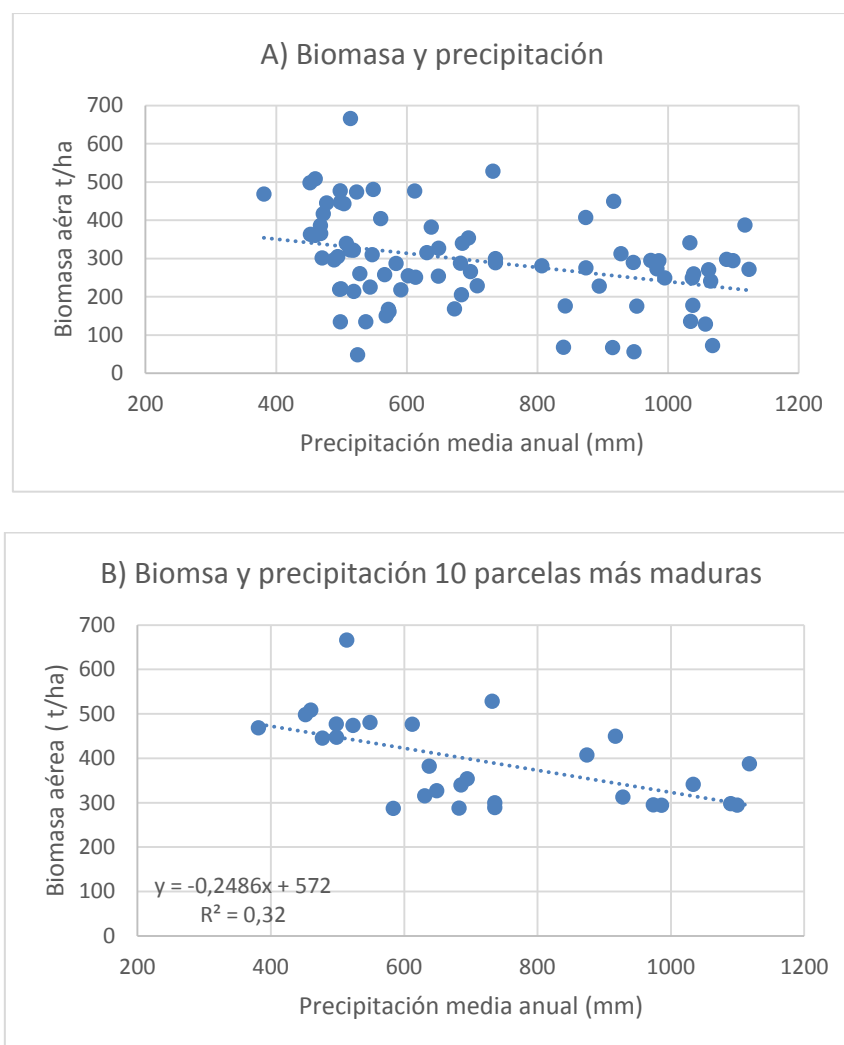


Figura 4.7. Relación entre biomasa aérea (t/ha) de las parcelas maduras de las islas de La Palma, Tenerife y La Gomera con las precipitaciones medias anuales (mm) en cada una de las islas. A) para todas las parcelas (n = 83) y B) para las 10 parcelas más maduras en cada isla (n = 30) (Elaboración propia).

En la figura 4.8 se muestra la relación entre la biomasa aérea (toneladas/hectárea) y la altitud (m) de todas las parcelas de la laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera analizadas. Parece que existe una relación unimodal entre ambas variables, alcanzando la biomasa de la laurisilva su máximo en torno a los 900 m de altitud y disminuyendo hacia zonas más bajas y zonas más altas.

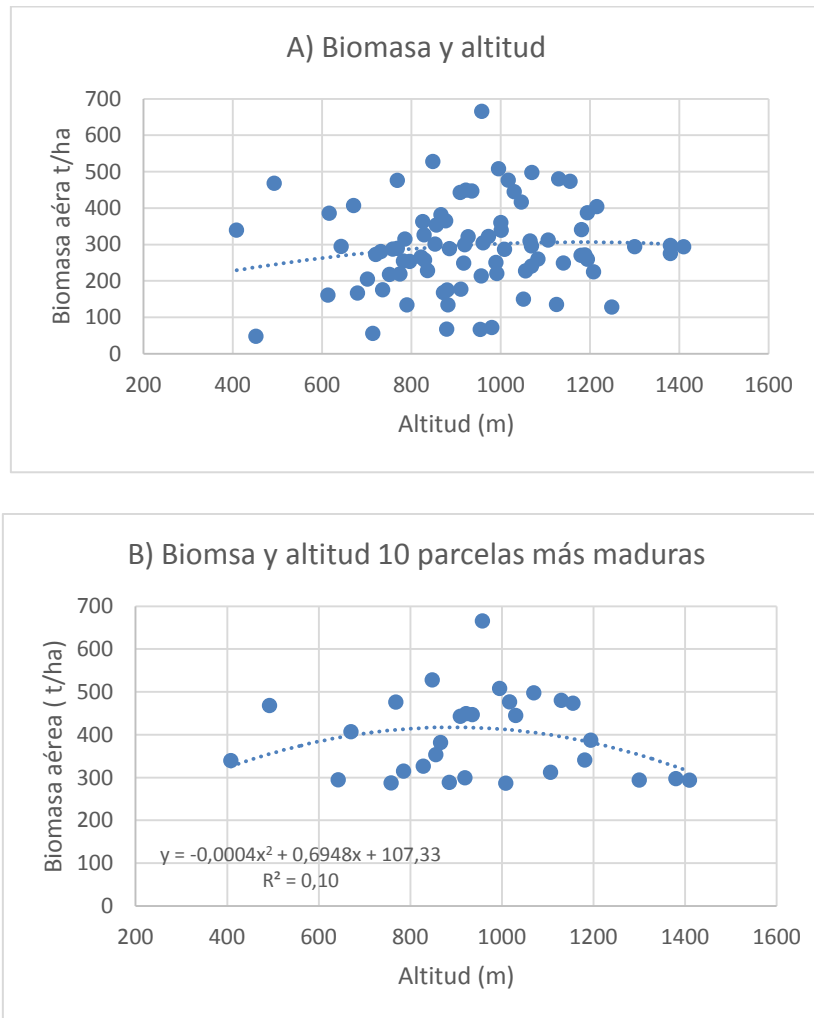


Figura 4.8. Relación entre la biomasa aérea (toneladas/hectárea) y la altitud (m) de todas las parcelas de la laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera analizadas. A) para todas las parcelas (n = 83) y B) para las 10 parcelas más maduras en cada isla (n = 30) (Elaboración propia)

En la figura 4.9 se muestra la relación entre la biomasa aérea (toneladas/hectárea) y la pendiente del terreno (grados) en las parcelas maduras de la

laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera. Existe una moderada correlación significativa entre estas dos variables.

En general, las relaciones entre factores ambientales y biomasa aérea se vuelven más pronunciadas cuando se consideran solo las parcelas más maduras de cada isla (es decir las con más biomasa, con excepción de la pendiente) eliminando las parcelas más alteradas y así reduciendo el efecto de la perturbación sobre la acumulación de biomasa.

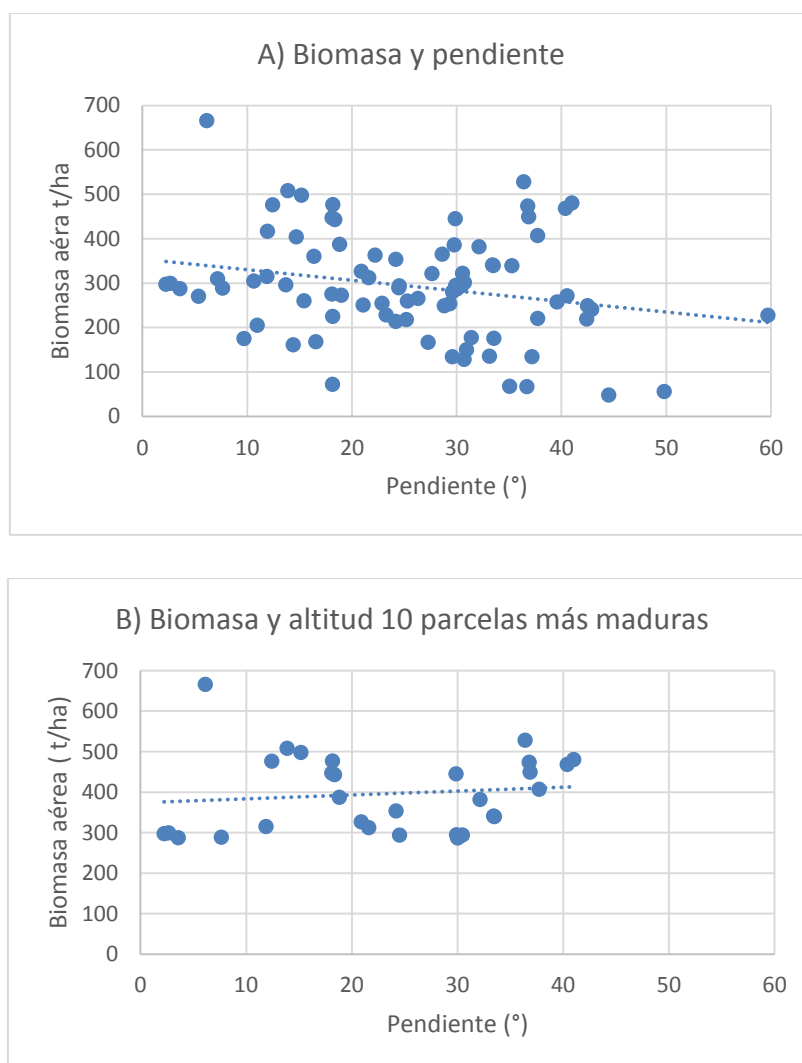


Figura 4.9. Relación entre la biomasa aérea (toneladas/hectárea) y la pendiente del terreno (grados) en las parcelas maduras de la laurisilva de La Palma, Tenerife y La Gomera. A) para todas las parcelas (n = 83) y B) para las 10 parcelas más maduras en cada isla (n = 30) (Elaboración propia).



## 5. Discusión

Nuestro análisis se ha ceñido a las islas de Tenerife, La Gomera y La Palma, porque en las otras dos islas del archipiélago en las que en el pasado hubo laurisilva, esta es hoy en día muy escasa (El Hierro, factor al que se suma la escasa superficie de la isla) o ha desaparecido casi por completo (Gran Canaria). Hubiera sido muy interesante contar con datos de parcelas para Madeira, laurisilva con la que Canarias comparte casi todas las especies arbóreas (salvo *Clethra arborea*, exclusiva de Madeira por *Arbutus canariensis* y *Pleimeris canariensis*, exclusivos de Canarias), por lo que ya contaríamos con las ecuaciones alométricas, pero las pesquisas que hicimos al respecto no dieron resultado con tiempo suficiente para incorporar los datos de esta isla al análisis. En todo caso, en un futuro confiamos en poder hacerlo.

La Gomera presenta los valores más altos de biomasa por superficie del conjunto de las tres islas analizadas. Ello es fácil de entender por el excepcional estado de conservación de la laurisilva gomera que, aunque sólo fue protegida legalmente desde 1981 con su declaración de Parque Nacional de Garajonay, esa declaración fue posible porque la laurisilva gomera ya estaba protegida de facto por los habitantes de la isla conocedores de su valor para la captación de agua.

La isla de La Palma presenta los valores más bajos de biomasa de los estudiados, lo que podría entenderse porque ha sido la isla en donde la explotación del monte ha subsistido hasta más recientemente. De hecho, aún quedan algunos carboneros y rematantes en activo en esta isla ya desaparecidos hace varias décadas en el resto de las islas, al bajar la demanda de dichos productos (carbón vegetal, varas, horquetas, horquetones, etc.). Las zonas bien conservadas de laurisilva en La Palma, que sin duda existen (Barranco de los Tilos, Cubo de La Galga) son escasas en comparación con las explotadas recientemente o en el pasado.

Finalmente, Tenerife presenta una situación parecida a la de La Palma, pues simultanea zonas donde la laurisilva está bien conservada, como en los macizos de Anaga (como por ejemplo demuestran las parcelas del proyecto Netbiome, con una

biomasa similar a las del Garajonay) y Teno, con otras menos masivas y más degradadas localizadas a lo largo de las medianías a barlovento de la isla.

Es interesante observar la aparente contradicción que existe entre la capacidad de almacenar biomasa, y por ende carbono, de los individuos de gran tamaño (DBH > 100 cm) y su baja potencialidad para seguir acumulando biomasa en el futuro. Por ejemplo, el bosque del Garajonay, que presentan superficie significativas en gran estado de conservación, nos permite conocer la potencialidad de la laurisilva para almacenar carbono, alcanzándose valores de hasta 370 t/ha, pero sin embargo, precisamente por ese buen estado de conservación, al estar ya en la madurez y muy cercano a ella, la capacidad de estos bosques para seguir acumulando biomasa es mucho menor que la de los bosques mucho más inmaduros de Tenerife y, sobre todo, de La Palma.

Si comparamos esta capacidad de almacenamiento de biomasa y carbono con otras laurisilvas del mundo y bosques mediterráneos, vemos que la laurisilva canaria está entre las que más almacenan (tabla 5.1) y que supera claramente la capacidad de las típicas formaciones forestales en la península ibérica, como hayedos (biomasa aérea: 160 t/ha), abetales (218 t/ha), encinares (30 t/ha) o pinares de pino silvestre (126 t/ha)(Gobierno de Aragón, 2008). No obstante, la laurisilva con depósitos de 170-250 t/ha carbono en biomasa aérea no llega a los niveles más altos de almacenamiento de bosques tropicales (350 t/ha, figura 5.1, Sullivan *et al.*, 2017) y los bosques templados húmedos con valores aún más altos (400 t/ha, figura 5.2, Butler 2009). Con una riqueza de especies arbóreas reducida (15-20 especies/ha), la laurisilva canaria se ubicaría en la esquina de abajo a la izquierda en la figura 5.1.

	Selva magallánica			Nueva Zelanda	Japón	Sureste EE.UU
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Edad del bosque	465	628	339	400	55	
Densidad (árboles/ha)	251	1361	2692	1110	2900	
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	75,50	62,75	107,70	51,8	47,93	
Altura	<32	<19	<15			
LAI (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	3,00	2,48	4,45	51,8	5,99	6,2
B aérea total (t/ha)	468	246,60	311,70	255	193,29	139,9 [126-420]
B hojas (t/ha)	5,20	4,41	7,74	9,30	7,70	5,60
B restos (t/ha)				62		51,40
PPN aérea (t/ha año)	8,31	4,89	8,30	11,20	13,68	8,40
PPN hojas (t/ha año)	2,40	2,17	3,44			

Tabla 5.1. Biomasa y producción en laurisilvas del mundo. (1), (2) y (3) toposecuencias de bosques de *Nothofagus betuloides* en la isla Grande la Tierra del Fuego (Argentina), de menor a mayor altitud. En las partes medias (2) y altas (3) la única especie arbórea es *Nothofagus betuloides*, en las zonas bajas (1) el bosque es mixto con *Maytenus magellanica* y *Drimys winteri* en el sotobosque, pero los datos solo se refieren a *N.betuloides*. (4) Laurisilva de *Nothofagus*. (5) Laurisilva de *Castanopsis* en Okinawa. (6) Laurisilva de la cuenca hidrográfica Coweeta. (Alcaraz *et al.*, 2012)

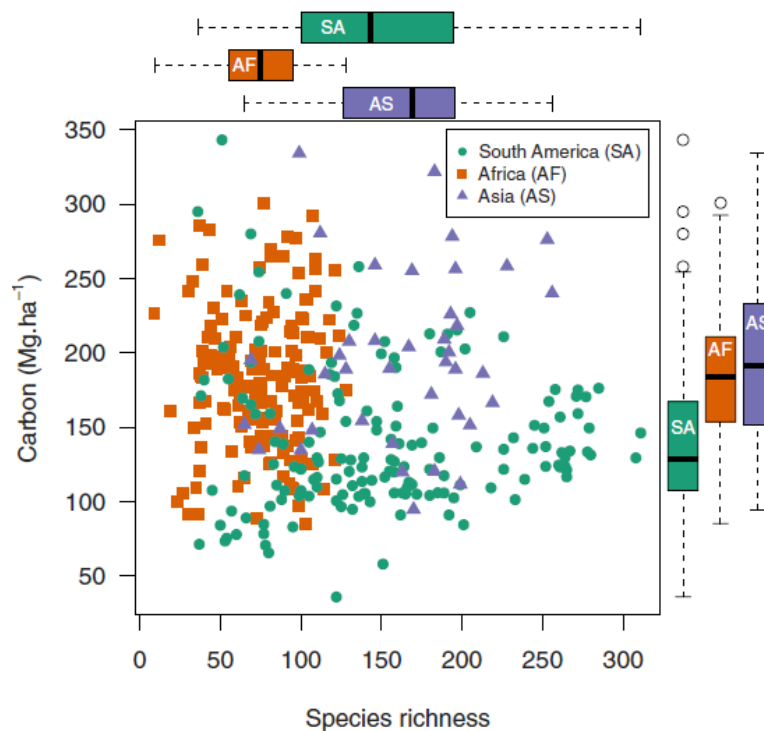


Figura 5.1. Diversidad y depósito de carbono en biomasa aérea de bosques tropicales del mundo por hectárea (Sullivan *et al.*, 2017).

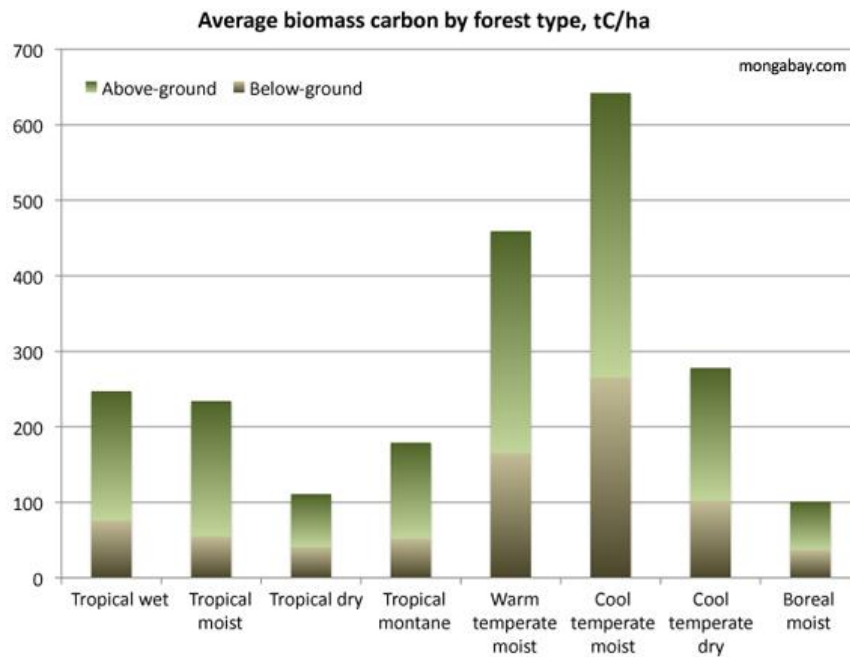


Figura 5.2. Depósitos de carbono en biomasa aérea y subterránea de los principales biomas del mundo (Butler, 2009)

En cuanto a la capacidad de secuestrar carbono, la laurisilva canaria tiene un valor (4 t/ha año) similar comparado con las principales formaciones de bosques mediterráneos (tabla 5.2) y se encuentra en el límite inferior del rango de otras laurisilvas del mundo.

Agrupación	Especies incluidas	Crecimiento anual de biomasa (t MS/ha)		
		Aérea	Subterránea	Total
<i>Pinus nigra</i> (Conífera, Atlántico, altitud alta)	<i>Pinus nigra</i> <i>Picea</i> sp., <i>Pseudotsuga menzlesii</i> , <i>Larix</i> sp., <i>Chamaecyparis lawsoniana</i> , coníferas no incluidas en otros grupos	5,24	1,31	6,55
<i>Pinus radiata</i> (Conífera, Atlántico, altitud baja)	<i>Pinus radiata</i> <i>Pinus pinaster</i>	5,39	1,35	6,74
<i>Pinus sylvestris</i> (Conífera, submediterráneo)	<i>Pinus sylvestris</i>	3,86	1,04	4,90
<i>Pinus halepensis</i> (Conífera, mediterráneo)	<i>Pinus halepensis</i>	4,02	1,21	5,22
<i>Quercus ilex</i> (Froncosa, La Rioja)	<i>Quercus ilex</i> <i>Quercus pirenaica</i>	3,01	1,12	4,13
<i>Fagus sylvatica</i> (Froncosa, Atlántico, altitud alta)	<i>Fagus sylvatica</i>	3,12	0,56	3,68
<i>Eucalyptus</i> spp (Froncosa, costa)	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Eucalyptus nitens</i> Otros <i>Eucalyptus</i>	13,77	3,83	17,60
<i>Quercus faginea</i> (Froncosa, submediterránea)	<i>Quercus faginea</i>	2,57	0,72	3,29
<i>Quercus robur</i> (Froncosa, Atlántico, altitud baja)	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Quercus rubra</i> , <i>Salix</i> sp, <i>Alnus</i> sp <i>Robinia pseudoacacia</i> , Árboles ripícolas, <i>Platanus</i> sp. <i>Populus</i> sp. <i>Castanea</i> sp. <i>Betula</i> sp. <i>Fraxinus</i> sp. Bosque mixto	4,73	1,32	6,06

Tabla 5.2. Bosques como sumideros de carbono en la Comunidad Autónoma del País Vasco (NEIKER-Tecnalia, 2014).

Este análisis de la capacidad de captura de carbono de la laurisilva, cuenta con un hándicap importante, el hecho de no haber podido cuantificar la necromasa (biomasa muerta) del ecosistema, bien como madera muerta en pie, como mantillo o leña sobre el suelo, como raíces muertas y, sobre todo, como humus bajo la superficie edáfica. Sabemos que este compartimento suele ser el más masivo en la mayor parte de los ecosistemas y posiblemente la laurisilva no sea una excepción. Sin embargo, por ahora, las dificultades técnicas ligadas a su cuantificación han hecho que lo dejemos de lado. Pero debemos tener claro que tanto la capacidad de retener biomasa y carbono,

como la de acumularlo con el paso del tiempo es mucho más alta que la que se puede deducir de los valores aquí calculados, limitados a la fracción viva de la biomasa.

Es interesante observar como la capacidad de almacenar carbono varía dependiendo de la edad, es decir, del tamaño, de los individuos arbóreos. Esta crece exponencialmente hasta aproximadamente los 40 cm de DBH, luego linealmente hasta los 130 cm, para alcanzar aquí un máximo y de facto comenzar a decrecer a partir de ese momento. Es decir, la capacidad de captura de carbono de los bosques maduros es prácticamente inexistente, o de hecho como parecen demostrar recientes trabajos en la Amazonía y en el África tropical, pasan de ser sumideros a ser fuentes de carbono, emitiendo a la atmósfera más carbono del que secuestran.

Dicho de otra forma, la captura de carbono por parte de los ecosistemas forestales como elemento para mitigar el cambio climático tiene un límite claramente definido, a partir del cual apenas van a capturar carbono. Este límite estará indicado tanto por la superficie original del bosque, en Canarias y para el marco climático del Holoceno aquella existente inmediatamente antes de la llegada de los humanos, como por el estado sucesional del bosque, es decir por lo cercano o alejado que este se encuentre de la madurez.

Por ejemplo, la capacidad de acumulación futura de carbono que tiene la laurisilva gomera es escasa, en comparación con otras islas, en la medida que su laurisilva está bastante bien conservada, y por ello cercana a la madurez, y además, ya ocupa una fracción importante de su distribución potencial. Por otro lado, islas como Tenerife o La Palma, con una fracción territorial muy baja de la laurisilva original, que además no cuenta por término medio con una gran calidad, presenta una gran capacidad de secuestro de carbono para el futuro. En esa misma línea, Gran Canaria, donde la laurisilva prácticamente ha desaparecido, el potencial es inmenso, siempre y cuando se creen las condiciones adecuadas para su restauración ecológica, lo que de hecho es una tarea muy compleja. La situación de El Hierro es similar, aunque por su escaso tamaño, su contribución a la captura de carbono será mucho menor.

## 5.1. Correlaciones con factores ambientales

Hemos analizado cómo se correlaciona la biomasa de la laurisilva con tres parámetros ambientales diferenciados, como son la precipitación anual, la altitud y la pendiente. La biomasa de la laurisilva presenta una curva unimodal, gaussiana respecto a la altitud de la isla, alcanzándose un máximo sobre los 900 m. Ello es lógico, puesto que es un ecosistema que depende por completo del influjo del mar de nubes, factor que le permite encontrar un refugio de humedad ante la sequía estival del clima mediterráneo prevalente en Canarias. Y este refugio está acotado altitudinalmente, entre los 500-600 m y los 1200-1500 m dependiendo del momento del día (el mar de nubes tiende a hacerse más denso a las 5 pm y a disiparse posteriormente) y del año (la base del mar de nubes se encuentra más alta en invierno que en verano), por lo que parece bastante sensato que la capacidad de carga del bosque se maximice a una altura intermedia a ambos límites inferior y superior.

La respuesta de la biomasa a la pendiente, es más compleja de interpretar. La gráfica muestra una correlación negativa de la capacidad de carga de la laurisilva con la inclinación del terreno, aún cuando la regresión no es significativa. Un terreno más llano permite un mayor desarrollo de la bóveda forestal, mientras que uno más inclinado impone unas limitaciones, como mayor dificultad de obtener recursos (agua, nutrientes) que tienden a migrar ladera abajo, y mayor impacto del viento, lo que, sumado a un centro de gravedad desplazado, podría suponer el colapso de una bóveda muy alta. También cabría pensar que comunidades con mayor desarrollo de biomasa habrían sido más explotadas en el pasado por los humanos, por lo cual debería de existir alguna evidencia en la gráfica, que parece no existir. Creemos que ello se debe a las parcelas de La Gomera, que siendo muy masivas y muchas estando en zonas relativamente llanas gracias a su protección secular, eclipsan la ausencia de tales parcelas en Tenerife y La Palma.

Finalmente, la respuesta negativa de la biomasa a la precipitación es más compleja de interpretar, aunque la fortaleza de dicha respuesta parece no dejar lugar a matices. Por un lado, podría tratarse con alta probabilidad de datos de precipitación procedentes de lecturas en pluviómetros regulares, que no son capaces de contabilizar

la precipitación horizontal, que como sabemos, es en este ámbito mucho más importante que la vertical. Por otro lado, las máximas precipitaciones verticales anuales se suelen alcanzar en laderas a barlovento en altitudes más propias del pinar mixto o incluso pinar húmedo, que de la laurisilva, y por la dominancia del pinar, estas parcelas son catalogadas por el Inventario Nacional Forestal, como pinares y, consecuentemente, no se han considerado en esta revisión.

Otra explicación podría ser la coincidencia entre condiciones hídricas y estado de bosque. La Palma es sin duda la isla más húmeda y alberga la laurisilva más húmeda de toda Canarias, lo que se muestra claramente en los mapas climáticos y también en la dominancia de *Persea indica* en las parcelas de La Palma, una especie indicadora de la laurisilva higrófila. No obstante, en nuestro estudio faltan las parcelas de laurisilva madura en La Palma comparado con las otras dos islas. Por lo tanto, coinciden condiciones muy húmedas con una laurisilva generalmente alterada y joven lo que se refleja en una caída de la biomasa con valores altos de precipitación en la figura 5.6. Esto no quiere decir que no existen comunidades maduras de laurisilva en La Palma, simplemente no fueron muestreadas con el muestreo sistemático del IFN3.

Los análisis preliminares de condiciones edáficas como rocosidad, textura o materia orgánica del suelo no son concluyentes y deberíamos profundizar en el estudio edáfico de la laurisilva. Los valores más bajos de materia orgánica de las parcelas de La Palma se podrían explicar con la mayor pendiente del terreno, dado que sitios muy inclinados generalmente suelen tener suelos mucho menos desarrollados. No obstante, los datos edáficos del IFN3 se basan en observaciones visuales y no en análisis de propiedades edáficas realizados en el laboratorio. Por lo tanto, hay que tener precaución en el momento de interpretar los datos.



## 6. Conclusiones

- 1) La utilización de la información proporcionada por los diferentes Inventarios Forestales Nacionales y la reciente publicación de ecuaciones alométricas específicas desarrolladas como vía indirecta para el cálculo de la biomasa, son un elemento fundamental para abordar el cálculo de la capacidad de captura actual y futura de carbono que tienen las formaciones forestales, como estrategia para la mitigación del cambio climático antrópico.
- 2) La laurisilva canaria, además de su incontestable valor histórico, ecológico y de biodiversidad, puede jugar también por su extensión y precario estado de conservación un gran papel futuro en la fijación de carbono.
- 3) La isla de La Gomera es la que presenta la laurisilva más madura de Canarias, fundamentalmente conservada en el PN de Garajonay, mientras que Tenerife y La Palma, por haber sostenido hasta recientemente la explotación de la laurisilva (de hecho, aun vigentes en La Palma), presentan comunidades más inmaduras.
- 4) Precisamente por el buen estado de conservación de la laurisilva gomera, esta isla es la que menor capacidad de captura de CO<sub>2</sub> presenta de cara al futuro, mientras que es la isla de La Palma, la que mayor potencial tiene de las estudiadas para captar carbono, tanto por la inmadurez de su laurisilva como por su importante distribución potencial. Otra isla no estudiada, Gran Canaria, presenta una gran capacidad de captura futura siempre que se creen las condiciones para restaurar esta formación forestal.
- 5) La biomasa total que pueden sostener las comunidades maduras de laurisilva en Canarias, como las encontradas en el Garajonay, está en torno a las 750 t/ha, de las cuales en torno a 500 t/ha serían aéreas y el resto subterráneas. Ello supone una captura de 370 t/ha de Carbono y en torno a 1400 t/ha de CO<sub>2</sub>.
- 6) El incremento anual de la biomasa de la laurisilva canaria depende también considerablemente de la isla analizada. La Gomera secuestra casi 4 toneladas de biomasa aérea por hectárea y año, lo que equivale a 2 toneladas de carbono /ha año. Para la laurisilva de La Palma serían 2,4 t/ha año de biomasa aérea o

1,2 t/ha año de carbono, mientras que Tenerife aumentaría la biomasa aérea 1,6 t/ha año, lo que supone 0,8 t/ha año de carbono.

- 7) Los primeros análisis indican que la capacidad de la laurisilva de almacenar biomasa y carbono también depende de factores climáticos, dado que se encontró un máximo en torno a los 900 m de altitud. Por lo tanto, no sólo el estado de madurez y el área de distribución potencial de la comunidad, sino también el cambio climático puede influir en el potencial de este ecosistema como depósito y sumidero de carbono en el futuro.
- 8) Toda esta información refuerza la necesidad de proceder a la restauración ecológica de los bosques canarios (no únicamente de la laurisilva), siempre que esta no se está dando espontáneamente, pues además de crear las condiciones para mejorar la supervivencia de una excepcional biodiversidad florística y faunística endémica, estaríamos contribuyendo a la mitigación del calentamiento global a través de la captura de carbono.

## 7. Bibliografía

- AEMET y OECC. (2018). Cambio Climático: Calentamiento Global de 1,5°C. Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid. 9 pp.
- Aguilera, F., Brito, A., Castilla, C., Díaz, A., Fernández-Palacios, J.M., Rodríguez, A. Sabaté, F., & Sánchez, J. (1994). *Canarias: economía, ecología y medio ambiente*. Francisco Lemus Editor, La Laguna. 361 pp.
- Alberdi, I., Sandoval, V., Condés, S., Cañellas, I., Vallejo, R. (2016). El Inventario Forestal Nacional Español, una herramienta para el conocimiento, la gestión y la conservación de los ecosistemas forestales arbolados. *Ecosistemas* 25(3): 88-97.
- Alcaraz-Ariza, F.J., Delgadillo-Rodríguez, J., Alonso-Vargas, M. (2012). *Bioclimatología y vegetación del Mundo*, Tema 26. Laurisilvas. Universidad de Murcia 11 pp.
- Benjamín-Ordóñez, J.A., Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3-12.
- del Arco, M.J. (ed.) (2006). *Mapa de Vegetación de Canarias*. Grafcan Ediciones, Santa Cruz de Tenerife, 550 pp. + 7 mapas + CD.
- del Arco, M., González-González, R., Garzón-Machado, V., Pizarro-Hernández, B. (2010). Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status. *Biodiversity and Conservation*, 19: 3089-3140.
- Di Sacco, A., Hardwick, KA., Blakesley, D., Brancalion, P., Breman, E., Cecilio-Rebola, L., Chomba, S., Dixon, K., Elliot, S., Ruyonga, G., Shaw, K., Smith, P., J.Smith, R., Antonelli, A. (2021). Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. *Global Change Biology*, 27: 1328–1348.
- FEMP, Federación Española de Municipios y Provincias. (2010). *Sumideros de carbono a nivel local*. 162 pp.

- Gobierno de Aragón. (2008). *Estudio sobre la funcionalidad de la vegetación leñosa de Aragón como sumidero de CO<sub>2</sub>: existencias y potencialidad (estimación cuantitativa y predicciones de fijación)*. 98 pp
- Butler, R.A. (2009). *Temperate forests store more carbon than tropical forests, finds study*. Mongabay news & inspiration from nature's frontlines.
- Fernández-Palacios, J.M., Arévalo, J.R., Balguerías, E., Barone, R., Delgado, J.D., de Nascimento, L., Elias, R.B., Fernández-Lugo, S., Méndez, J., Naranjo Cigala, A., Menezes de Sequeira, M. & Otto, R. (2017) *La Laurisilva Canarias, Madeira y Azores*. Macaronesia Editorial, Santa Cruz de Tenerife. 417 pp.
- Figueroa-Clemente, M.E., Redondo-Gómez, S, Luque-Palomo, T. (2010). *Evaluación de la capacidad de sumidero de CO<sub>2</sub> de la vegetación arbórea y arbustiva susceptible de ser utilizada en la red de carreteras de Andalucía. Generación de un modelo estacional de funcionamiento de sumideros y aplicación a un caso práctico*. Consejería de Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía. 215 pp.
- Lomolino, M., Riddle, B., Whittaker, R. & Brown, J. (2017). *Biogeography*. Sinauer.
- Melero-Hernández, A., Quintero-Nuñez, M., Galíndo-Duarte, M. (2013). *Análisis de las estrategias de mitigación y adaptación del sector transporte en la ciudad de Mexicali*. Scielo. vol.14, n.28, 79-105.
- MITECO y OECC. (2012). *Cambio climático. Sumideros de carbono*. 2 pp.
- MITECO y OECC. (2019). *Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono*. 29 pp.
- Mola, I., Sopeña, A. y de Torre, R. (2018). *Guía Práctica de Restauración Ecológica*. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 77 pp.
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2006). *Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Madrid. 275 pp.
- NEIKER-Tecnalia. (2014). *SUMIDEROS DE CARBONO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO. Capacidad de secuestro y medidas para su promoción*. Servicio

Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Donostia-San Sebastián, Vitoria-Gasteiz, 214 pp.

- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W.A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., Hayes, D. y Lewis, S. L., (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045); 988-993.

- Pardos, J.A. (2010). *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 253 pp.

- Paustian, K., Ravindranath, N.H., van Amstel, A., Gytarsky, M., A. Kurz, W., Ogle, S., Richards, G., Somogyi, Z. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. 25 pp.

- Robla-González, E. (2017). *Conceptos básicos de la contabilidad LULUCF*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.

- Rübél, E.F. (1930) *Pflanzengesellschaften der Erde*. Hans Huber Verlag. Zürich, 464 pp.

- SAPEA, Science Advice for Policy by European Academies. (2018). *Novel carbon capture and utilisation technologies: research and climate aspects*. Berlin: SAPEA. 76 pp.

- Santos, A. (1990) *Bosques de Laurisilva en la región Macaronésica*. Colección Naturaleza y Medio Ambiente nº49. Consejo de Europa, Estrasburgo. 79pp.

- Smit, B., Reimer, J.A., Oldenburg, C.M., Bourg, I.C. (2014). *Introduction to Carbon Capture and Sequestration*. Imperial College Press, London. *Chapter 1: Energy and Electricity*. 46 pp.

- Schroeder, F. G. (1998) *Lehrbuch der Pflanzengeographie*. UTB für Wissenschaft 8143. Quelle & Meller, Wiesbaden. 457 pp.

- Sullivan, M., Talbot, J., Lewis, S. *et al.* (2017). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports* 7,39102 <https://doi.org/10.1038/srep39102>

-<http://inabio.biodiversidad.gob.ec/metas-aichi/#:~:text=VI%20INFORME-,Las%20metas%20Aichi%20hacen%20referencia%20al%20cumplimiento%20del%20Plan%20Estrat%C3%A9gico,y%20particularmente%20de%20la%20nuestra>, (visitada el 4/05/2021).

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT?end=2016&start=1960&view=chart>, (visitada el 24/04/2021).

- [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations\\_es#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations_es#tab-0-0), (visitada el 5/05/2021).

- <https://www.accion.com/es/cambio-climatico/>, (visitada el 5/05/2021).

-<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>, visitada el (5/05/2021).

-<https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/cambio-climatico/el-co2-record-410-ppm/#:~:text=Di%C3%B3xido%20de%20carbono,-De%20todos%20los&text=La%20concentraci%C3%B3n%20media%20anual%20de,410%2C5%20ppm%20en%202019>, (visitada el 6/05/2021).

-<https://cambioglobal.uc.cl/comunicacion-y-recursos/que-es-el-cambio-global>, (visitada el 17/05/2021).

-<https://es.unesco.org/courier/2018-2/antropoceno-problematika-vital-debate-cientifico>, (visitada el 18/05/2021).

- <https://geologiaweb.com/geologia-general/ciclo-carbono/>, (visitada el 17/05/2021).

-<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEI.aspx>, (visitada el 17/05/2021).

-<https://www.lavanguardia.com/natural/20190514/462242832581/concentracion-dioxido-cabono-co2-atmosfera-bate-record-historia-humanidad.html>, (visitada el 17/05/2021).

-<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/#:~:text=Se%20llama%20cambio%20clim%C3%A1tico%20a,muy%20diversas%20escalas%20de%20tiempo>, (visitada el 17/05/2021).

[http://www.oscc.gob.es/es/general/salud\\_cambio\\_climatico/cambio\\_climatico\\_es.htm](http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/cambio_climatico_es.htm), (visitada el 17/05/2021).

-<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/huella-de-carbono#:~:text=C%C3%93MO%20REDUCIR%20LA%20HUELLA%20DE%20CARBONO&text=Apuesta%20por%20un%20consumo%20responsable,respetuosos%20con%20el%20medio%20ambiente>, (visitada el 18/05/2021).

-<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/>, (visitada el 26/05/2021).

-<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-espanol-patrimonio-natural-biodiv/sistema-indicadores/04c-l-forestal-nacional.aspx>, (visitada el 26/05/2021).