

Plan de acción para el tipo
de hábitat **9360 Laurisilvas
macaronesicas**
(*Laurus*, *Ocotea*) (*)

José María Fernández-Palacios, Concha Olmeda y Juan Carlos Simón

**Plan de acción para el tipo
de hábitat 9360 Laurisilvas
macaronesicas
(Laurus, Ocotea) (*)**



Madrid, 2025

AVISO LEGAL: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

El presente documento se realizó en el marco del proyecto Continuación del 'Proceso Biogeográfico Natura 2000' en las regiones mediterránea y macaronésica de la U.E., promovido y financiado por la Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Coordinación general

María Regodón²

Autores principales

José María Fernández-Palacios³, Concha Olmeda⁴ y Juan Carlos Simón⁴

Revisión editorial

Jaime Galán², Marina Gaona², Adrián García² y Samuel Suárez-Ronay²

¹ Dirección General de Biodiversidad, Bosques y Desertificación. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

² Tragsatec. Grupo Tragsa

³ Universidad de La Laguna

⁴ Atecma (Asesores Técnicos de Medio Ambiente S.L)

Colaboradores

Paulo Borges, Jorge Capelo, Maria Lurdes Vieira Spínola Costa, Eduardo Dias, Rui Miguel Pires Bento da Silva Elias, Susana Fontinha, Raquel Hernández, Carlos Ferreira Lobo, Diana Pereira, Sofía Rodríguez Núñez, Carla Goulart Martins da Silva, Juan Luis Silva, Dinarte Teixeira y Manuel Ángel Vera Galán.

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Fernández-Palacios J.M., Olmeda, C. & Simón J.C., 2025. *Plan de Acción para el tipo de hábitat 9360 Laurisilvas macaronésicas (Laurus, Ocotea) (*)*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Madrid.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.

Diseño y maquetación: Tragsatec. Grupo Tragsa



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

Edita

© SUBSECRETARÍA

Gabinete Técnico

Catálogo de publicaciones del Ministerio: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/>

Catálogo general de publicaciones oficiales: <https://cpage.mpr.gob.es/>

NIPO: XXXXXXXXXX

CONTENIDO

ANTECEDENTES Y PRESENTACIÓN	6
1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PLAN DE ACCIÓN.....	7
2. DEFINICIÓN DEL TIPO DE HÁBITAT Y CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA	8
2.1 NOMBRE Y DEFINICIÓN DEL TIPO DE HÁBITAT.....	8
2.2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA	10
2.2.1 Principales características del hábitat y requisitos ecológicos	10
2.2.2 Dinámica (espacial y temporal) del tipo de hábitat en toda la región	15
2.2.3 Diversidad y variabilidad ecológicas: subtipos de hábitats	15
2.2.4 Relaciones con otros tipos de hábitats	17
3. ESTADO DE CONSERVACIÓN Y TENDENCIAS.....	19
3.1 DISTRIBUCIÓN ACTUAL , ÁREA DE DISTRIBUCIÓN Y SUPERFICIE ESTIMADA.....	20
3.1.1 Distribución/mapa actual del tipo de hábitat y de todos sus subtipos.	20
3.1.2 Estructura espacial.	22
3.1.3 Distribución y superficie en los espacios Natura 2000	23
3.1.4 Estimación de la superficie	24
3.1.5 Área favorable de referencia.	24
3.1.6 Análisis de tendencias	30
3.2 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN	31
3.2.1 Evaluación actual del parámetro de estructura y función (según el art. 17 elaboración de informes)	31
3.2.2 Propuesta de armonización de la metodología de evaluación y seguimiento	31
3.3 PERSPECTIVAS FUTURAS: ANÁLISIS DE PRESIONES Y AMENAZAS	45
3.3.1 Identificación y evaluación de las presiones y amenazas actuales (en virtud del art. 17 Elaboración de informes)	45
3.3.2 Principales causas de las presiones y amenazas identificadas.	47
3.3.3 Propuesta de armonización de la evaluación de las presiones y amenazas	49
3.4 CONCLUSIONES SOBRE LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN Y LAS TENDENCIAS , LAGUNAS Y NECESIDADES FUTURAS	53
4. OBJETIVOS Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN.....	54
4.1 OBJETIVOS DE RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN	54
4.1.1 Recuperación del área favorable de referencia para 2050	54
4.1.2 Mantener en buen estado al menos el 90% de la superficie del hábitat	54
4.1.3 Mejorar la protección y la gestión dentro y fuera de la red natura 2000	55
4.1.4 Asegurar la adaptación al cambio climático	56



4.2 OBJETIVOS Y MEDIDAS PARA MEJORAR LA INFORMACIÓN Y EL SEGUIMIENTO	57
4.2.1 Mejorar la información sobre la diversidad y los requisitos ecológicos de la laurisilva. .	57
4.2.2 Mejorar la evaluación y el seguimiento del estado de conservación de la laurisilva, incluyendo la mejora del conocimiento sobre las presiones y sus efectos en la laurisilva. . .	57
4.3 OBJETIVOS Y MEDIDAS DE DIFUSIÓN Y CONCIENCIACIÓN.....	59
4.3.1 Aumentar la concienciación sobre la importancia de la conservación de la laurisilva. . .	59
5. RECURSOS Y HERRAMIENTAS PARA LA IMPLANTACIÓN.....	60
5.1 COSTE DE LAS MEDIDAS Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	60
5.2 HERRAMIENTAS DE APLICACIÓN Y MEDIDAS DE APOYO.....	61
6. SEGUIMIENTO Y REVISIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN	62
7. GOBERNANZA PARA LA APLICACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN	63
8. MARCO DE ACTUACIÓN	64
ANEXOS	72
ANEXO 1	73
ANEXO 2.....	86
ANEXO 3.....	88
ANEXO 4.....	125
ANEXO 5.....	129
ANEXO 6 & 7.....	143

ANTECEDENTES Y PRESENTACIÓN

Este Plan de Acción tiene por objeto identificar las medidas necesarias con vistas a mantener y restablecer el hábitat de la laurisilva en un estado de conservación favorable en toda su área distribución.

En el marco del Proceso Biogeográfico Natura 2000, el Seminario inicial de la Región Biogeográfica Macaronésica se celebró en septiembre de 2018, en Funchal (Madeira, Portugal). Una de las conclusiones de este Seminario fue la necesidad de promover la elaboración de un plan de acción piloto para un tipo de hábitat de interés comunitario en la región macaronésica. Para ello, se propuso la creación de un grupo de trabajo en la región. El grupo acordó centrar el plan de acción en un tipo de hábitat típico y endémico de la región biogeográfica, presente en los tres archipiélagos (Azores, Madeira y Canarias) de la región: la laurisilva macaronésica (Laurus, Ocotea) (*) (9360)

Un grupo formado por expertos científicos y representantes de las autoridades regionales (Azores, Madeira y Canarias) colaboró en la elaboración de este plan de acción. El Ministerio español para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico prestó el apoyo necesario para la redacción del plan de acción.

Este ejercicio también ha servido para identificar las lagunas de información y las necesidades futuras en aras a abordar la conservación de este tipo de hábitat y aplicar el plan de acción. Este plan de acción piloto también será útil en la preparación de futuros planes de acción sobre hábitats potenciales en el marco del proceso biogeográfico de Natura 2000.

I. OBJETIVO Y ALCANCE DEL PLAN DE ACCIÓN

Objetivo general del plan de acción:

promover las acciones necesarias para alcanzar un estado de conservación favorable del hábitat en la región macaronésica.

Objetivos específicos:

i) compartir conocimientos y experiencias sobre la evaluación y el seguimiento del estado del hábitat y sus principales presiones y amenazas, y ii) promover enfoques armonizados y coherentes para abordar la conservación del tipo de hábitat a nivel biogeográfico, basados en el conocimiento científico y en el enfoque ecosistémico.

Alcance:

región biogeográfica y el EM donde está presente el hábitat.

2. DEFINICIÓN DEL TIPO DE HÁBITAT Y CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

2.1 Nombre y definición del tipo de hábitat

El **Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea** (Comisión Europea, 2013) define este tipo de hábitat de la siguiente manera:

«Bosques laurifolios siempre verdes, exuberantes, de húmedos a hiperhúmedos con neblinas del cinturón nuboso de las islas macaronésicas, extremadamente ricos en especies de flora y fauna, muchas de ellas circunscritas solo a estas comunidades (*Pruno-Lauretalia*). Determinados géneros como *Picconia*, *Semele*, *Gesnouiina*, *Lactucosonchus*, *Ixanthus* son completamente endémicos de estas comunidades, mientras que otros, como *Isoplexis*, *Visnea* y *Phyllis*, alcanzan su máximo desarrollo en estos emplazamientos; además, cada una de las formaciones de los distintos archipiélagos alberga especies endémicas distintivas. Este tipo de hábitat incluye:

- bosques laurifolios de las islas Azores (45.61 *Ericetalia azorica* p.), en las que los bosques húmedos de las zonas costeras (*Myrico-Pittosporietum undulati* p.) se encuentran

completamente o casi completamente degradados, con una marcada invasión de *Pittosporum undulatum*, especie introducida originaria de Australia; se encuentra una representación mejor en los bosques hiperhúmedos (*Calcito-Juniperion brevifoliae* p.) en alturas más elevadas;

- bosques laurifolios de Madeira (45.62 *Pruno-Lauretalia azorica*) que todavía ocupan una superficie relativamente amplia, de 10.000 ha;
- bosques laurifolios de las Islas Canarias (45.63 *Ixantho-Laurion azoricae*); los bosques laurifolios de cada isla albergan una serie distintiva de fauna y flora endémica, como demuestra las especies del género *Pericallis*, las subespecies claramente distinguibles de pinzón *Fringilla coelebs* o las especies de *Carabidae*.



Propuesta de definición revisada

Nueva definición propuesta: HCI 9360 Macaronesian Laurisilva (*Laurus*, *Picconia*)*

La laurisilva macaronésica es un bosque perennifolio laurifolio multiestratificado, sin heladas, húmedo a hiperhúmedo, de tipo tropical, característico, pero no exclusivo, del cinturón nuboso de montaña, distribuido exclusivamente en los archipiélagos volcánicos del Atlántico nororiental de Azores, Madeira y Canarias. Se considera una reliquia de la antigua geoflora paleotropical europea y de la cuenca del Mar de Tetis del Paleógeno y Neógeno.

La altura del dosel varía en función del archipiélago y de las condiciones ambientales del lugar, y el hábitat puede albergar > 500 t/ha de biomasa tanto por encima como por debajo de la superficie del suelo. Es extremadamente rica en especies, con unas 30 especies de árboles paleoendémicas participando en su bóveda en su área de distribución. Presenta varios caracteres de tipo tropical (dioecia real o funcional extendida, entomofilia, ornitocoria, semillas recalcitrantes, bancos de plántulas y chupones, etc.) y participan familias botánicas poco representadas en el continente europeo, como Clethraceae, Lauraceae, Myrsinaceae, Pentaphylacaceae, Pittosporaceae o Sapotaceae.

Otros grupos taxonómicos presentes con alta endemicidad incluyen arbustos, lianas, aves, artrópodos o moluscos, y con alta riqueza de especies incluyen hongos, helechos, musgos y líquenes, muchos de ellos epífitos. Además de su biodiversidad y valor histórico, este tipo de hábitat proporciona a la comunidad local importantes servicios ecosistémicos, como: captura de carbono, captura y retención de agua, y formación y retención de suelos.

Justificación de los cambios propuestos:

- Laurisilva en lugar de bosque laurifolio, porque así se denomina en la Macaronesia.
- *Picconia* en lugar de *Ocotea*, porque *Picconia* es un género endémico de la Macaronesia que existe en los tres archipiélagos, mientras que *Ocotea* no es endémica ni nativa de las Azores.
- La definición pretende ser lo más concisa y representativa posible del 9360 de los tres archipiélagos.
- Se han incluido las principales características abióticas del THIC.
- Se ha subrayado el carácter relíctico del tipo de hábitat de interés Comunitario.
- Se han omitido los nombres fitosociológicos y taxonómicos, a excepción de algunos nombres de familias botánicas. La idea es

incluir los nombres de los taxones más representativos (árboles, aves, artrópodos, moluscos) en su caracterización.

- Se han añadido importantes servicios ecosistémicos.



2.2. Caracterización ecológica

2.2.1 Principales características del hábitat y requisitos ecológicos

(basado en Fernández-Palacios *et al.*, 2017)

El término “laurisilva” fue introducido por primera vez por Brockmann-Jerosch & Rübel en 1912. Se aplica comúnmente a la laurisilva de la Macaronesia, pero abarca todo tipo de bosques multiestratificados formados en gran parte por árboles y arbustos con hojas perennes anchas, coriáceas y lustrosas (laurofilas = hojas similares a las del laurel). Sin embargo, la composición arbórea es muy variada incluyendo, en algunos casos, coníferas y especies caducifolias (Santos-Guerra, 1990). Estos bosques laurófilos evolucionan bajo climas tropicales o subtropicales con una humedad relativa elevada y temperaturas moderadas, y van acompañados de epífitas y lianas que les confieren un carácter “tropical”. Esta formación vegetal no tiene tantas especies como los bosques tropicales, pero se les parece mucho en fisonomía, estructura, diversidad, complejidad y en las adaptaciones especializadas que poseen sus especies.

La laurisilva macaronésica alberga varias familias botánicas ausentes, o casi ausentes, en el continente europeo, a pesar de haber sido abundantes allí en el pasado. Algunos ejemplos son Clethraceae, Lauraceae, Myrsinaceae, Pentaphyllaceae, Pittosporaceae o Sapotaceae. Toda la Macaronesia cuenta con unas 30 especies exclusivas de árboles de dosel, la gran mayoría de ellas paleoendémicas, y una altísima biodiversidad neoendémica en otros grupos de habitantes del bosque, como aves, artrópodos o moluscos, lo que implica una riqueza de especies y un índice de endemidad sobresalientes.

Otros atributos interesantes de las comunidades o especies tropicales del hábitat 9360 son: i) la naturaleza recalcitrante de las semillas arbóreas, lo que significa que germinan o mueren, formando así bancos de plántulas; ii) la ausencia de periodos marcados de floración, que en algunas especies puede durar todo el año; iii) la caulifloria, presente en Myrsinaceae y Sapotaceae; iv) el hábito perenne

de todas las especies arbóreas (excepto *Sambucus* spp.); v) un predominio del dimorfismo sexual, es decir, dioecia en *Ilex*, *Laurus*, *Morella*, *Pittosporum*, *Rhamnus*; o androdioecia en *Picconia*) o vi) una entomogamia y ornitocoria generalizadas, entre otras (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

Por último, la capacidad de captura de carbono de la laurisilva macaronésica es sobresaliente (ver anexo I) y se han medido niveles tan altos como 350-370 t/ha C en masas maduras de laurisilva en La Gomera (y muy probablemente tengan valores similares en masas maduras del 9360 de Madeira), a lo que habría que añadir 230-430 t/ha C en los suelos de 9360, por lo que el carbono (C) total capturado puede alcanzar en bosques maduros hasta 400-800 t/ha. Además, las áreas basales de la comunidad pueden alcanzar en masas forestales maduras > 60m²/ha y la altura del dosel en terrenos llanos puede llegar hasta 30-40 m.

La laurisilva es fundamentalmente un bioma relictos. La otrora extensa Geoflora Paleotropical se encontraba en todas las latitudes medias durante el Terciario, cuando las condiciones eran mucho más cálidas y húmedas que en la actualidad. Este bioma ha persistido en entornos geográficos únicos caracterizados por climas relictos que se han mantenido sin grandes cambios desde el Terciario. Como consecuencia del deterioro climático experimentado en las latitudes altas y medias durante el Neógeno y, sobre todo, a partir del inicio de las glaciaciones del Plio- Pleistoceno, estas laurisilvas sólo se dan en unas pocas zonas.

En la actualidad, encontramos diferentes versiones de este bioma en todo el mundo, generalmente entre las latitudes 25° y 40° norte y sur, en los bordes oriental y occidental de los continentes (donde tiene su mayor extensión) y en islas dispersas. Por lo tanto, presenta una distribución claramente disjunta de bosques fragmentados distantes entre sí y con una superficie total reducida en relación con otros biomas, pero presentes en todos los grandes reinos vegetales. Las distintas laurisilvas del mundo tienen historias evolutivas diferentes y apenas comparten especies entre ellas. Sin embargo,



comparten características forestales que demuestran respuestas similares a condiciones ambientales parecidas. Como grupo, la flora de estos bosques pertenece en su mayor parte a la región florística en la que se encuentran, pero siempre incluye especies de origen tropical. Este hecho, que implica un origen tropical-subtropical común, puede interpretarse como que todas las formaciones de laurisilva derivan de un modo u otro de la selva tropical primitiva. De hecho, las laurisilvas representan bosques tropicales en regiones extratropicales (Schroeder, 1998).

En general, el clima en el que se desarrollan las distintas laurisilvas del mundo se caracteriza por precipitaciones abundantes durante todo el año y temperaturas suaves. También se asocian a cierto grado de contraste entre el verano y el invierno, lo que las diferencia de las selvas tropicales. Este clima, por la ausencia de estrés hidrológico o térmico a lo largo del año, se asemeja a los climas terciarios. Por ello, sólo puede existir en zonas subtropicales húmedas y, ocasionalmente, en zonas templadas lluviosas expuestas al flujo de vientos del oeste. Estas zonas se localizan preferentemente en los bordes orientales u occidentales de los continentes dependiendo del hemisferio en el que se encuentren. Un denominador común que siempre encontramos en este tipo de biomas forestales, independientemente de su ubicación, es la ausencia de una estación seca marcada en cualquier momento del año y una baja frecuencia de heladas. Además, las laurisilvas se encuentran en las regiones menos afectadas por las glaciaciones del Cuaternario, lo que sin duda ha favorecido la retención de algunas especies muy antiguas.

Sin embargo, en las regiones sometidas a un clima de tipo mediterráneo, la laurisilva también puede sobrevivir como un tipo de bosque nuboso de montaña al abrigo de los bancos de nubes orográficas generados por los vientos dominantes. En estas condiciones, la distribución de laurisilva se limita a la banda altitudinal bajo influencia nubosa, lo que le permite superar el estrés hídrico que prevalece por encima y por debajo. Como el refugio nuboso sólo existe

en los flancos y escarpes de las montañas, la laurisilva se convierte entonces, como en Macaronesia, en un bosque nuboso similar en estructura a los bosques tropicales, pero mucho más pobre en especies (Ohsawa et al., 2010).

En general, como veremos, las laurisilvas presentan una elevada diversidad arbórea. El clima benigno y el carácter perenne de la mayoría de las especies hacen que se produzca un cierto nivel de fotosíntesis casi todo el año. Cuando las precipitaciones y la temperatura son adecuadas, la estructura de la laurisilva rivaliza con la de la selva tropical, con copas que pueden alcanzar los 30-50 m de altura, bajo las cuales aparecen otros estratos arbóreos y arbustivos, así como trepadoras y epífitas.

Muchas especies de laurisilva pueden rebrotar desde la base del tronco o desde las raíces, tal vez una adaptación para superar los daños causados por las tormentas, y los árboles individuales pueden tener varios troncos formando estructuras similares a jaulas. Al igual que los bosques tropicales, la laurisilva es oscura y esencialmente sin estacionalidad, por lo que la floración y la fructificación no están sincronizadas como en los bosques templados. En consecuencia, dependiendo mucho de la especie de que se trate, hay flores y frutos durante todo el año.

El carácter montañoso y volcánico de los archipiélagos atlánticos hace que estas islas soporten un cinturón de vientos alisios húmedos casi permanente en sus flancos. El flujo constante de los vientos alisios, junto con el efecto moderador del océano Atlántico, y el hecho de que pudiera desplazarse hacia las cumbres de las montañas, o descender hacia la costa a medida que el clima se calentaba o enfriaba, ha protegido a la laurisilva macaronésica de las repetidas crisis climáticas de frío. Tales crisis eliminaron laurisilva en el curso del Cuaternario de la cercana Europa y del norte de África (Mai, 1989). El bosque atlántico de laurisilva es un bosque nuboso de montaña cuya principal característica, teniendo en cuenta su latitud, es una elevada riqueza arbórea de unas treinta especies -la mayoría endémicas-. A grandes rasgos, el bosque está

formado por árboles de hoja perenne en los que predominan los de hoja lauroide, que son hojas de tamaño mediano y lustrosas que recuerdan o se confunden fácilmente con las del laurel, resultado de su adaptación al clima relativamente uniforme anual, con temperaturas moderadas y humedad elevada.

El ecosistema forestal de laurisilva no es homogéneo, presentando, una gran gama de tipos forestales. Las variaciones de altitud, exposición o relieve traen consigo temperaturas, precipitaciones, intensidad del viento, nubosidad, insolación, etc. muy diferentes, lo que crea entornos distintivos a los que las especies son más o menos sensibles.

Por último, el bosque de laurisilva ha desempeñado y desempeña un papel de importancia crítica tanto para el desarrollo y la retención del suelo, como para la captura y retención de carbono y agua procedentes tanto de las precipitaciones como de la captura de la humedad de las nubes (Fig. 1).

El anexo I resume la caracterización ecológica del 9360 en los tres archipiélagos. Este proporciona datos sobre las características abióticas (clima y propiedades del suelo), así como sobre las características bióticas, incluida la riqueza y composición de especies florísticas y faunísticas, los parámetros de estructura y función, la regeneración y la dinamicidad.

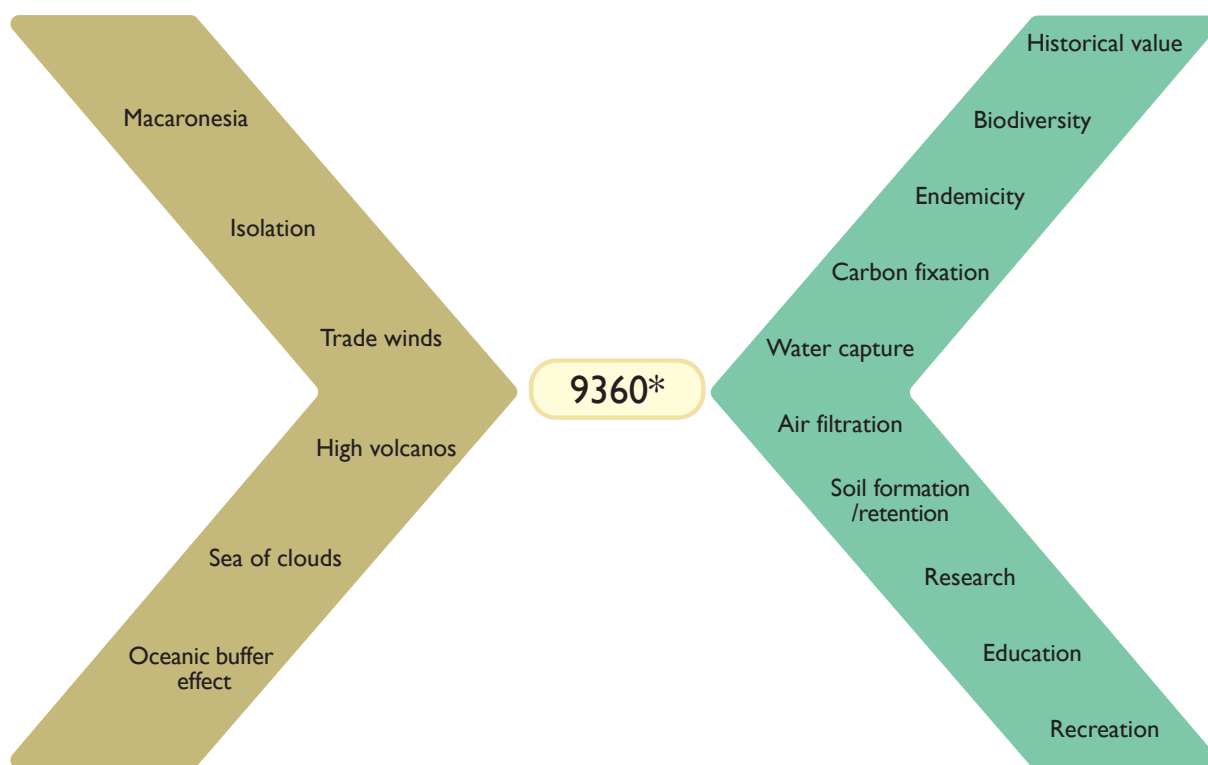


Figura 1: Diagrama de flujo del 9360 que recopila los fundamentos biogeográfico-ecológicos de su existencia y los servicios ecosistémicos que presta.

Selección de especies típicas

Siguiendo los documentos de orientación de la Comisión Europea, las candidatas a ser seleccionadas como **especies típicas** deben incluir una o más de las siguientes características: 1) Una especie en la que se basa la identificación del hábitat; 2) Una especie inseparable de este hábitat; 3) Una especie presente regularmente en el hábitat, pero no restringida a él; 4) Una especie característica del hábitat; 5) Una especie que forma parte integrante de la estructura del hábitat o 6) Una especie clave con una influencia significativa sobre la estructura y/o la función del hábitat. Para evitar solapamientos con la evaluación de la estructura y función del hábitat, el documento sugiere definir las especies típicas como aquellas que son inseparables del hábitat en el que están presentes, pero diferentes de las utilizadas para definir este tipo de hábitat. Siguiendo estas indicaciones, se ha considerado que las **especies típicas** podrían definirse como aquellas relevantes para mantener el tipo de hábitat en un estado de conservación favorable, ya sea por su frecuencia o dominancia (valor estructural) o por su influencia clave en el funcionamiento ecológico del hábitat (valor funcional). También hay que tener en cuenta el nivel geográfico de referencia o la escala para la que esta especie es típica, un subtipo de hábitat, una zona de una isla determinada, una isla entera, un archipiélago o la región biogeográfica. Si la especie seleccionada tiene un área de distribución reducida, sería interesante mencionar en qué Zonas de Especial Conservación (ZECs) está presente y dar parámetros genéticos y demográficos que permitan analizar su estado de conservación. En estos casos, sería pertinente indicar su categoría de amenaza según la UICN (Comisión Europea, 2017).

Siguiendo estas indicaciones para la laurisilva macaronésica, no se deben designar los árboles constituyentes del dosel como especies típicas porque se evaluarán periódicamente en la estructura y función del hábitat. Debido a su aislamiento, el 9360 que existe en las distintas islas suele tener especies endémicas de una

única isla (endemismos monoinsulares). Parece razonable considerar estos endemismos insulares como especies típicas adecuadas para controlar y evaluar cada versión insular del THIC 9360. La tabla I recoge una aproximación preliminar hacia este objetivo, pero la identificación de estas especies típicas del 9360 deberá ser una de las tareas que lleven a cabo los expertos en un futuro próximo.



Espacio formado en la Laurisilva debido a la tormenata Delta, Anaga (Tenerife). Foto: Nélida Rodríguez

Typical species	Taxonomic group	Endemicity	Island	IUCN status
<i>Echium pininana</i>	Plantas vasculares	SIE	La Palma	EN
<i>Echium acanthocarpum</i>	Plantas vasculares	SIE	La Gomera	EN
<i>Euphorbia mellifera</i>	Plantas vasculares	MAE	Tenerife, La Gomera, Madeira	LC
<i>Isoplexis chalcantha</i>	Plantas vasculares	SIE	Gran Canaria	CR
<i>Euphorbia santamariae</i>	Plantas vasculares	SIE	Santa Maria	CR
<i>Euphorbia stygiana</i>	Plantas vasculares	MIE	São Miguel, Terceira, Pico, Faial, Flores	?
<i>Musschia wollastonii</i>	Plantas vasculares	SIE	Madeira	EN
<i>Laurobasidium lauri</i>	Hongos	SIE	Macaronesia	NT
<i>Tremella</i> ssp.	Hongos	endemic	Macaronesia	NE
<i>Clavaria vermicularis</i>	Hongos	Non-endemic	Madeira, Canaries	NE
<i>Sacroscypha macaronésica</i>	Hongos	MAE	Madeira, Canaries	NE
<i>Plagiochila maderensis</i>	Briófitos	MAE	Madeira, Tenerife, La Gomera	NE
<i>Cryptolentodon longisetus</i>	Briófitos	MAE	Macaronesia	NE
<i>Homalothecium mandonii</i>	Briófitos	MAE	Macaronesia	NE
<i>Exerthotheca intermedia</i>	Briófitos	MAE	Macaronesia	NE
<i>Nephroma</i> ssp.	Líquenes	MAE	Macaronesia	NE
<i>Lobaria</i> ssp.	Líquenes	MAE	Macaronesia	NE
<i>Pseudocyphellaria</i> ssp.	Líquenes	MAE	Macaronesia	NE
<i>Sticta</i> ssp.	Líquenes	MAE		NE
<i>Columba bollii</i>	Aves	MAE	Tenerife, La Palma, La Gomera, El Hierro	LC
<i>Columba trocaz</i>	Aves	MIE	Madeira	LC
<i>Scolopax rusticola</i>	Aves	SIE	Macaronesia	
<i>Phyrrula murina</i>	Aves	MAE	São Miguel	VU
<i>Fringilla</i> ssp.	Aves	SIE	Macaronesia	
<i>Erithacus</i> ssp.	Aves	MIE	Macaronesia	
<i>Regulus</i> ssp.	Aves	SIE/MIE	Macaronesia	
<i>Pipistrellus maderensis</i>	Quirópteros	SIE/MIE	Madeira, Canaries	EN
<i>Nyctalus azoreum</i>	Quirópteros	MAE	All except, Flores and Corvo	VU
<i>Plecotus tenerifae</i>	Quirópteros	Azores	Tenerife, La Palma, El Hierro	CR
<i>Carabus faustus</i>	Insectos	Canaries	Tenerife	NT
<i>Dysdera</i> spp.	Arácnidos	SIE	Canaries	
<i>Leiostyla</i> spp.	Moluscos		Madeira	
<i>Madeirovitrina</i> ssp.	Moluscos		Madeira	
<i>Insulivitrina</i> ssp.	Moluscos		Canaries	
<i>Plutonia</i> ssp.	Moluscos		Azores	

Tabla 1: Listado preliminar de especies típicas candidatas a seguimiento en la evaluación del estado del 9360 (extraído de Fernández-Palacios et al., 2017). La endemicidad se expresa como SIE: endemismos monoisulares; MIE: endemismos pluriinsulares; MAE: endemismos pluri-archipelágicos; las categorías de amenaza de la UICN se expresan como CR: En peligro crítico; EN: En peligro; VU: Vulnerable; LC: Preocupación menor; NT: Casi amenazada; NE: No evaluada.

2.2.2 Dinámica (espacial y temporal) del tipo de hábitat en toda la región

La laurisilva macaronésica puede existir allí donde se den las condiciones climáticas adecuadas que permitan a este peculiar ecosistema soportar la intensa sequía estival del clima de tipo mediterráneo. Esto es posible en Canarias y Madeira debido a la existencia del mar de nubes originado por los vientos alisios del noroeste que crean en las islas volcánicas un refugio climático en las elevaciones medias de las laderas de las islas de barlovento (ca. 100-1.500 m en Madeira y ca. 500-1.200 m en Canarias). En las Azores, la humedad durante todo el año y las temperaturas suaves del clima oceánico impulsado por la corriente de El Golfo permiten la existencia del hábitat 9360 desde las costas hasta la cumbre de todas las islas (excepto Pico). Más allá de este refugio climático, el hábitat 9360 sólo puede aparecer en estas circunstancias climáticas particulares en las laderas de sotavento de las islas (barrancos profundos o acantilados expuestos al Norte).

Es decir, que el hábitat 9360 ha ido ascendiendo reiteradamente hacia la cumbre de las islas y descendiendo hacia la costa siguiendo la migración vertical del mar de nubes relacionada con el inicio de las glaciaciones del Pleistoceno. El

futuro de este hábitat está fuertemente ligado al mar de nubes producido por los vientos alisios. Si el cambio climático en curso afectara al mar de nubes con una redistribución altitudinal (hacia arriba o hacia abajo), el hábitat 9360 respondería. Además, si el cambio climático en curso disipara el mar de nubes, también provocaría la desaparición de la laurisilva, al menos, tal y como la conocemos hoy.

2.2.3 Diversidad y variabilidad ecológicas: subtipos de hábitats

El conocimiento de la diversidad ecológica interna del hábitat 9360 procede de la clasificación de la vegetación y de la cartografía de la vegetación (tanto de la vegetación potencial o pre-humana, como de la vegetación actual o existente) que han elaborado los investigadores que trabajan en estas zonas. Un ejemplo de estos conocimientos son los subtipos de hábitats reconocidos en los distintos archipiélagos de la Región Biogeográfica Macaronésica y sus principales características. La elaboración de estas clasificaciones de la vegetación y de los mapas consiguientes sigue principalmente un enfoque bioclimático-fitosociológico. El bioclima de una zona determinada puede analizarse utilizando varios parámetros relacionados con la temperatura (anual, mensual, estacional, máximas



Banco de plántulas, Anaga (Tenerife). Foto: Nélida Rodríguez

y mínimas, etc.), las precipitaciones (anuales, mensuales, estacionales, etc.), las heladas, la evapotranspiración, la nubosidad, las horas de sol y la humedad relativa. También se puede adscribir la vegetación a una entidad fitosociológica específica (ya sean asociaciones, alianzas, órdenes, clases) caracterizada por la presencia/abundancia de diferentes especies de plantas vasculares.

Este enfoque clásico del análisis y la caracterización de la vegetación debería complementarse en un futuro próximo con una clasificación de los tipos y subtipos de hábitats basada en criterios más ecológicos, que preste más atención, además de a las características bioclimáticas y florísticas, a las características ecológicas cruciales, que pueden ser más informativas sobre la estructura, la función y la dinámica del hábitat. Estos pueden incluir: asignación de biomasa aérea y subterránea, cantidad y composición de la hojarasca, Productividad Primaria Neta, tasa de descomposición, distribución del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y clases de altura, tipo y eficacia de la regeneración, relaciones C/N del suelo y las hojas, y varios rasgos funcionales de las plantas (tamaño de las hojas, área foliar específica, altura individual, densidad del tallo, peso de las semillas, expresión sexual, modos de polinización y dispersión, etc.), etc. En realidad, muchas de estas características se consideran variables indispensables para evaluar el estado de las masas forestales 9360.

Las clasificaciones más recientes basadas en el enfoque bioclimático-fitosociológico de los subtipos de laurisilva para las Azores (Dias, 1996; Dias 2004, 2007, 2012; 2021; Elias 2016), Madeira (Capelo et al., 2004, 2005, 2007, 2021; Mesquita et al., 2004, 2007) y Canarias (del Arco, 2006, del Arco et al., 2010), reconocen los siguientes subtipos (ver mapas en el Anexo 4):

En Azores, se han reconocido dos o tres comunidades diferentes (dependiendo de los autores consultados) dentro del 9360, que ocuparían las zonas bajas de las islas, mientras que los bosques montanos de *Juniperus* (THIC 9560 y 91D0) ocuparían las zonas más altas.

- **Bosque de zonas bajas de** (Elias et al., 2016) (= Bosque siempreverde supramediterráneo de Dias et al., 2012).

- **Bosque submontano de *Laurus*** (Elias et al., 2016), subdividido por Dias et al., (2012) en: a) **bosque planifolio subtropical (*Laurus-Frangula*)** y b) **bosque planifolio oceánico (*Laurus-Ilex*)**.

Además, sensu Elias et al., (2016) entre el bosque de zonas bajas de Picconia-Morella y las costas de la isla se distribuiría un brezal de *Erica azorica* (4050) (no reconocido por Dias et al., 2012).

En Madeira, Capelo et al., (2004, 2005, 2007, 2021) han reconocido tres subtipos de laurisilva:

- **Laurisilva de Barbusano (*Apollonias-Ilex*)**, más termófila y situada a menor altitud.
- **Laurisilva de Til (*Ocotea-Clethra*)**, más tolerante al frío y situada a mayor altitud.
- **Laurisilva de arroyo (*Persea*)**, más exigente de recursos hídricos ligados a corrientes de agua.

Además, también se reconoce una comunidad de especies pioneras de caulináreas (*Musschia*, *Isoplexis*, *Sonchus*) que desempeñan un papel muy importante en la recuperación de los claros de laurisilva. Por último, los matorrales de marmolano (*Sideroxylon*) han sido incluidos en la laurisilva por Capelo et al., (2007). Por encima de la laurisilva dominaría un brezal altitudinal (dominado por *Erica arborea*) (4050).

Por último, en Canarias, del Arco (2006) reconoció la existencia de cinco subtipos diferentes de laurisilva, además del (brezal leñoso de *Erica-Morella*) (4050). Los subtipos son:

- **Laurisilva seca**, comunidad desarrollada en ambientes más xéricos y termófilos, dominada por *Apollonias*, *Arbutus*, *Visnea* y *Picconia*
- **Laurisilva húmeda**, se encuentra en zonas más húmedas y está dominada por *Laurus*, *Ilex* y *Heberdenia*
- **Laurisilva fría** o fayal altitudinal, predominante en las zonas más frías y dominada por *Morella* y *Erica arborea* (aunque con elementos característicos del brezal leñoso

de *Erica-Morella* (4070), aquí pertenece a la laurisilva madura.

- **Laurisilva de cresterías**, dominado por *Erica platycodon*, *E. arborea* y *Morella*

- **Laurisilva higrófila**, situada en los cauces de los barrancos, y dominada por *Ocotea*, *Persea* y *Ilex perado*.

2.2.4 Relaciones con otros tipos de hábitats

El hábitat 9360 tiene una profunda y compleja relación con el tipo de hábitat de interés Comunitario 4050 (brezales endémicos macaronésicos), basada en que ambos hábitats se relacionan a través de la dinamicidad de la sucesión ecológica, siendo el 4050 una versión inmadura, y el 9360 una versión madura, de la misma serie de vegetación.

La transición espontánea de 4050 a 9360 es frecuente en lugares que han sido objeto de explotación humana en el pasado (por ejemplo, para la agricultura, los pastos, la extracción de madera, la extracción de suelos, etc.) y que han sido abandonados posteriormente. Tras su abandono la vegetación se recupera espontáneamente, de forma que el brezal leñoso de *Erica-Morella* (4050) existente en la actualidad se está transformando en una comunidad dominada por *lauráceas*, *Ilex* o *Picconia*, es decir, 9360. Allí donde la restauración ecológica espontánea está en curso, y las perturbaciones han cesado definitivamente, por ejemplo, en las medianías de algunas Islas Canarias, deberíamos esperar para el futuro una disminución de la extensión del hábitat 4050, equilibrada con un aumento de la extensión del hábitat 9360.

No obstante, en algunas localizaciones muy especiales (es decir, zonas muy ventosas, zonas más frías a mayor altitud o localizaciones con suelos muy pobres), incluso en ausencia de perturbaciones, varios autores (Santos-Guerra, 1990; del Arco, 2006; Capelo et al., 2007; Fernández-López & Gómez-González, 2016;

Fernández-Palacios et al., 2017) consideran que el 4050 sí puede ser una comunidad madura. En estos casos, no se producirá la transición al 9360.

La forma adecuada de discernir si una comunidad dada es 4050 o 9360 es, por tanto, una cuestión de composición de especies, porque ambas THIC pueden crecer en los mismos lugares. Nuestra propuesta aquí es utilizar el **área basal (AB)** (m²/ha) de las especies de árboles de dosel que participan en la comunidad para decidir su adscripción. Si el AB de *Erica* es superior al 50% del AB total de la comunidad, será un 4050, mientras que si la suma de las AB de *Lauraceae-Picconia-Ilex-Morella* es superior al 50%, la comunidad deberá ser catalogada como un 9360. Otra opción sería utilizar el índice NDVI (véase el Anexo 3) para discernir entre THIC 4050 y 9360. La transición de THIC 4050 a 9360 debe evaluarse en consecuencia.

Aunque no estén reconocidos oficialmente por la UE, los especialistas azorianos (Dias et al., 2012; Elias et al., 2016) adscriben los **bosques azorianos dominados por *Juniperus brevifolia*** en el HTCI 9560 (Bosque de *Juniperus* endémico), con excepción de las **turberas leñosas azorianas (con *Juniperus*)**, que los mismos autores adscriben al THIC 91D0.

2.2.5 Análisis de carencias y necesidades futuras

Aunque los conocimientos existentes sobre la funcionalidad del 9360 son sin duda importantes (véase el apartado 4.2 y sus referencias), todavía se necesitan más conocimientos en campos específicos si aspiramos a conseguir una evaluación rigurosa del estado del 9360 y para desarrollar planes de conservación y restauración ecológica.

Por ejemplo, es necesario conocer los valores de referencia estructurales y funcionales, o el rango de valores de las parcelas que representan las comunidades mejor conservadas de los distintos subtipos del hábitat 9360. Esta información es crucial para

evaluar el estado de las masas forestales estudiadas. Para el cálculo de la biomasa, la necromasa y el carbono almacenado encima y debajo de la superficie del suelo, se necesitan ecuaciones alométricas para muchas especies arbóreas que todavía no cuentan con alguna (todas, excepto *Erica arborea*, *Ilex canariensis*, *Laurus novocanariensis* y *Morella faya*) (Montero et al., 2005). Si esto resultara inabordable, se necesitaría como mínimo una ecuación alométrica general para la laurisilva que pueda utilizarse para todas las especies de árboles de dosel. Además, la elección final de las especies típicas adecuadas para islas y subtipos del 9360 es una tarea pendiente que deberán realizar los expertos, partiendo de la lista preliminar ofrecida anteriormente.

También existen grandes lagunas en nuestros conocimientos sobre las redes de expresión sexual, polinización y dispersión de las especies de plantas vasculares del hábitat 9360, o sobre

la diversidad y el papel funcional de lombrices, babosas, caracoles y artrópodos. Además, carecemos de conocimientos sobre el estado de amenaza de los invertebrados habitantes del hábitat 9360, la gran mayoría de los cuales son endemismos monoisulares. Para aquellas islas en las que el hábitat 9360 original casi ha desaparecido (Corvo, Graciosa, Santa María, Porto Santo, Desertas, Fuerteventura, Gran Canaria), necesitaríamos información paleoecológica sobre la extensión original y la composición de especies que pudiera impulsar futuros proyectos de restauración.

Además, como ya se ha mencionado, es necesario trabajar en la identificación de las especies típicas del hábitat que pueden utilizarse para evaluar su estado.



Regulus regulus inermis, Isla Terceira (Azores). Foto: Eduardo Dias

La evaluación del estado de conservación con arreglo al artículo 17 de la Directiva de Hábitats tiene en cuenta los siguientes parámetros: rango de distribución, superficie, estructura y función, y perspectivas futuras. Los resultados del último informe (2013-2018) se muestran a continuación (Tabla 2). Según estos informes, el área de distribución, la superficie y la estructura y función presentaban un estado favorable en

Sin embargo, como se comenta más adelante, la evaluación requiere una armonización y podría revisarse y mejorarse para el próximo periodo de notificación teniendo en cuenta las metodologías propuestas en este plan de acción.

Current selection: 2013-2018, Forests, 9160 Macaronesian forest forests (Laurus, Ocotea), Macaronesian. [Show all Forests](#)

Tabla 2: Resultados del último informe de acuerdo con el art. 17 (2013-2018) de los dos EM (Portugal y España) que albergan el hábitat 9360.

3.1 Distribución actual, área de distribución y superficie estimada

3.1.1 Distribución/mapa actual del tipo de hábitat y de todos sus subtipos

La Tabla 3 presenta la distribución actual de los diferentes subtipos del hábitat 9360 en las diferentes islas y archipiélagos constituyentes de la Región Biogeográfica Macaronésica. Aunque contamos con datos potenciales y actuales del hábitat 9360 para cada isla, lamentablemente faltan datos para la distribución actual de los diferentes subtipos del hábitat 9360 en Azores. Aun así, y a la espera de obtener esos datos, se puede hacer un análisis y diagnóstico preliminar de la situación actual del 9360 en las diferentes islas, archipiélagos y en toda la Macaronesia.

La situación actual de este THIC es preocupante; con las excepciones de Madeira (25,33 %) y La Gomera (37,14 %), la distribución actual del 9360 es apenas algo más del 20% de la extensión original de este hábitat. Entre los lugares con más del 10% de

la distribución original del 9360, figuran algunas islas de las Azores, como Faial (17,66%) y Flores (15,54%), o de las Canarias, como La Palma (19,26%), y El Hierro (12,63%). El resto de las islas tienen menos del 10% de la distribución original, y este hábitat ya casi ha desaparecido (< 1%) de Corvo, Graciosa, São Miguel y Santa Maria (Azores), Porto Santo y Desertas (Madeira) y Gran Canaria (Canarias).

A nivel archipelágico, la situación es crítica en las Azores, donde sólo queda un 3,30% de la distribución original. En Canarias, la situación es claramente desfavorable, con algo más de una décima parte (11,68%) de la distribución original del 9360. Finalmente, sólo en Madeira, aunque el hábitat 9360 ha desaparecido de dos islas (Porto Santo y Desertas), la situación puede considerarse adecuada, con un ca. 25% de la extensión preantropogénica. Por consiguiente, la Macaronesia en su conjunto, con un valor cercano al 10% (9,73%), evidencia la urgente necesidad de restaurar/conservar este hábitat único y de incalculable valor.



Frutos de *Morella faya*, Anaga (Tenerife). Foto: Nélida Rodríguez

Isla/subtipos 9360 extensión potencial/actual en ha (% restante)	Bosque de zonas bajas (Picconia-Morella)	Bosque submontano de Laurus (Laurus-Ilex)	Total 9360
Corvo	400/0 (0)	1100/0 (0)	1500/0 (0)
Flores	4000/? (?)	6100/? (?)	10100/1571 (15.54)
Graciosa	3000/0 (0)	800/0 (0)	3800/0 (0)
Faial	4300/? (?)	8500/? (?)	12800/226 (17.66)
Pico	6700/? (?)	22000/? (?)	28700/952 (3.31)
São Jorge	7800/? (?)	9500/? (?)	17300/293 (1.69)
Terceira	15300/? (?)	17100/? (?)	32400/2345 (7.23)
São Miguel	27500/? (?)	30700/? (?)	58200/331 (0.57)
Santa María	6700/? (?)	1800/? (?)	9500/9 (0.1)
Azores	75700/? (?)	97600/? (?)	173300/5727 (3.30)

Isla/ subtipos 9360 extensión potencial/ actual en ha (% restante)	Laurisilva de Barbusano (Apollonias-Ilex)	Laurisilva de Til (Ocotea-Clethra)	Total 9360
Madeira	22908/1392 (6.07)	38331/14125 (36.85)	61239/15517 (25.33)
Porto Santo	1032.2/0 (0)	0	1032.2/0 (0)
Desertas	324.6/0 (0)	0	324.6/0 (0)
Archip. de Madeira	24264.8/1392 (5.74)	38331/14125 (36.85)	62595.8/15517 (24.79)

Isla/subtipos 9360 extensión potencial/actual en ha (% restante)	Laurisilva seca (Apollonias. Picconia)	Laurisilva húmeda (Laurus. Ilex)	Laurisilva fría (Morella. Erica arborea)	Laurisilva de cresterías (E. platycodon)	Bosque higrófilo (húmedo) de laurisilva (Ocotea)	Total 9360
Fuerteventura	5/5 (100)	0	0	0	0	5/5 (100)
Gran Canaria	10000/17 (0.2)	7500/145 (1.93)	1600/0 (0)		200/3 (1.5)	19300/165 (0.85)
Tenerife	12600/671 (5.3)	16900/860 (5.09)	1800/85 (4.72)	400/363 (90.75)	1000/17 (1.7)	32700/1996 (6.10)
La Gomera	4000/487 (12.18)	4300/2621 (60.95)	900/295 (32.78)	100/100 (100)	300/62 (20.67)	9600/3565 (37.14)
La Palma	4100/321 (7.83)	11700/3074 (26.27)	2500/156 (6.24)		600/90 (15.00)	18900/3641 (19.26)
El Hierro	2600/499 (19.19)	3000/3 (0.10)	700/296 (42.29)		20/0 (0)	6320/798 (12.63)
Canarias	33305/2000 (6.06)	43200/6703 (15.52)	7500/831 (11.08)	500/463 (92.6)	2120/173 (8.16)	87100/10170 (11.68)

Archipiélago	Distribución potencial (ha)	Distribución actual (ha)	% restante
Azores	173 300	5727	3.30
Madeira	62 595	15 517	24.79
Canarias	87 100	10 170	11.68
Macaronesia	322 995	31 414	9.73

Tabla 3: Distribución potencial y real (subtipos) del 9360 por isla, archipiélago y región biogeográfica. a) Datos de las Azores (Elias et al., 2016; Triantis et al., 2010); b) Datos de Madeira (Capelo, 2004; Mesquita et al., 2007); c) Datos de Canarias (del Arco et al., 2010); d) Resumen de datos para los diferentes archipiélagos.

3.1.2 Estructura espacial

Una cuestión muy importante en la Biología de la Conservación es el grado de fragmentación que la actividad humana (es decir, la deforestación, la agricultura, el pastoreo, las infraestructuras, los asentamientos, los incendios forestales, etc.) ha creado sobre la superficie forestal original. Es importante destacar que la fragmentación existente en las islas oceánicas es intrínseca, de modo que, incluso sin impacto humano, las comunidades forestales de las islas oceánicas están fragmentadas y aisladas de otras islas o archipiélagos. Una consecuencia directa de ello es que, en gran medida, sólo las especies arbóreas estructurantes (las que constituyen el dosel forestal) son compartidas entre islas o archipiélagos, mientras que una fracción

importante de las plantas vasculares y de los invertebrados del suelo (artrópodos y moluscos) son endémicas monoisulares (SIE).

Sin embargo, el hombre también ha alterado profundamente la distribución original de los bosques en muchas islas, y la Macaronesia no es una excepción. Por ejemplo, en Canarias el número actual de parcelas existentes del hábitat 9360 es mayor, siendo éstas en promedio más pequeñas, más aisladas, empobrecidas en especies y con un mayor efecto de borde (es decir, la fracción de la parcela influenciada por la matriz que separa las parcelas forestales restantes) que las originales (Tabla 4).

Isla	4050 + 9360 superficie (km ²)	Nº de fragmentos	Tamaño medio del fragmento $\pm$ SD (km ²)	Distancia media al fragmento más cercano $\pm$ SD (km)
Gran Canaria	8.36	15	0.56 $\pm$ 0.62	1.10 $\pm$ 1.12
Tenerife	108.5	22	4.91 $\pm$ 11.33	0.86 $\pm$ 1.09
La Gomera	55.81	2	27.91 $\pm$ 39.07	-
La Palma	108.26	58	1.87 $\pm$ 8.02	0.31 $\pm$ 0.34
El Hierro	23.36	14	1.67 $\pm$ 4.40	0.68 $\pm$ 1.28
Canarias	304.19	111	2.74 $\pm$ 7.77	-

Tabla 4: Número de fragmentos, tamaño medio y aislamiento existente en la distribución de los THIC 4050 y 9360 en las diferentes Islas Canarias. Fuente: Delgado et al., 2001.

Llama la atención que la isla con mayor extensión relativa de estos tipos de hábitat (La Gomera) cuente con sólo dos grandes fragmentos (casi un hábitat continuo), mientras que La Palma, también con una distribución relativamente amplia de 4050 y 9360, tenga 58 fragmentos. Según la relación especie-área (SAR) (ver más abajo), cuanto más pequeños son los fragmentos, menos especies contienen. El aislamiento también desempeña un cierto papel y cuanto mayor es éste, menores son las probabilidades de que las parcelas sean colonizadas por otras especies similares. Gran Canaria tiene las parcelas más pequeñas y aisladas, mientras que, en Tenerife o La Palma, las parcelas son más grandes y están mejor comunicadas. El Hierro ocupa una posición intermedia. En este contexto, un objetivo prioritario de la restauración ecológica del 9360 sería la creación de corredores que ayuden a conectar las parcelas fragmentadas, como en La Palma, o a ampliarlas como sería necesario para Gran Canaria.

Sería deseable completar este tipo de análisis de fragmentación para todas las islas en las que está presente el hábitat 9360.

3.1.3 Distribución y superficie en los espacios Natura 2000

Tanto en Madeira como en Canarias, la casi totalidad del hábitat 9360 aún existente está incluido en la red Natura 2000 (ver Tabla 5 y Apéndices 2 y 5). Sin embargo, en las Azores, una fracción significativa del 9360 existente en diferentes islas (como Terceira, Pico, São Jorge, Faial o Flores) sigue estando fuera de la red Natura 2000, aunque parte del hábitat pueda estar protegido en la red regional/insular. Por lo tanto, es un objetivo crucial de este Plan de Acción para las Azores incorporar a la red Natura 2000 la totalidad, o la gran mayoría, de los territorios del hábitat 9360 aún fuera de la red Natura 2000 (protegidos o no por la red regional/insular).

Isla/archipiélago	Superficie actual 9360 (ha)	Dentro de Natura 2000 (ha) (%)	Fuera de Natura 2000 (ha) (%)
Flores	143.1	45.72 (31.95 %)	97.38 (68.05 %)
Faial	959.1	328.87 (34.29 %)	630.22 (65.71 %)
Pico	2 960	1 258 (42.5 %)	1 702 (57.5 %)
São Jorge	663.8	302.96 (45.64 %)	360.84 (54.36 %)
Terceira	847.27	436.85 (51.56 %)	410.42 (48.44 %)
São Miguel	195.1	185.36 (95.01 %)	9.73 (4.99 %)
Santa María	112.4	0 (0 %)	112.4 (100 %)
Azores	5 880.8	2 557.12 (43.49 %)	3 323.68 (56.51 %)
Madeira	17 008	15 462 (90.91 %)	1 546 (9.09 %)
Portugal	22 888.9	18 019.12 (78.72 %)	4 869.68 (21.28 %)
Fuerteventura	4.50	4.50 (100 %)	0 (0 %)
Gran Canaria	165.05	75.42 (45.70 %)	89.63 (54.30 %)
Tenerife	2025.68	1880.45 (92.83 %)	145.23 (7.17 %)
La Gomera	3667.55	3595.55 (98.04 %)	72 (1.96 %)
La Palma	3633.60	3239.13 (89.15 %)	394.47 (10.85 %)
El Hierro	797.89	788.30 (98.80 %)	9.59 (1.20 %)
Canarias	10 294.28	9 583.35 (93.09 %)	710.93 (6.93 %)
España	10 294.28	9 583.35 (93.09 %)	710.93 (6.93 %)
Macaronesia	33 183.08	27 602.47 (83.18 %)	5 580.61 (16.82 %)

Tabla 5: Proporción del 9360 dentro y fuera de la red Natura 2000 por isla, archipiélago y Región Biogeográfica. Fuente: Las distintas administraciones regionales

3.1.4 Estimación de la superficie

Los procedimientos que las distintas administraciones regionales han utilizado para la determinación del rango y la superficie del 9360, así como de su estructura y función, son claramente diferentes, como hemos podido reconocer a partir de un cuestionario (ver Anexo 6). Sugerimos un enfoque de armonización metodológica para que los resultados obtenidos en los distintos archipiélagos de la región biogeográfica, y a lo largo del tiempo dentro de un mismo archipiélago, puedan ser comparables.

Propuesta para la armonización de la evaluación del rango de distribución y superficie ocupada en la Región Macaronésica

El punto de partida tiene que ser un mapa de vegetación actual completo, con una base fitosociológica o bioclimatológica, combinado con numerosos inventarios de vegetación, de los diferentes subtipos de laurisilva. Estos mapas existen para todos los archipiélagos: Azores (Dias *et al.*, 2007; Elias *et al.*, 2016), Madeira (Capelo, 2004; Mesquita *et al.*, 2007) y Canarias (del Arco, 2006; del Arco *et al.*, 2010), aunque algunos aún no han sido publicados.

El siguiente paso es recoger imágenes de los satélites Sentinel de la ESA (que son gratuitas), que realizan un vuelo cada 8-10 días sobre los archipiélagos, con píxeles cuadrados de 10 x 10 m y cuatro bandas espectrales (visible más infrarrojo) y píxeles de 20 x 20 m con hasta 10-14 bandas espectrales. A partir de estas bandas espectrales, se pueden calcular índices de desarrollo de la vegetación como el NDVI o el EVI. Existe una amplia flexibilidad para la adquisición de información espectral georreferenciada, corregida y aplicable en diferentes entornos, como Copernicus, SEN 2R y SCP. La metodología es replicable y escalable y la información es pública, gratuita y basada en software libre.

Las imágenes de satélite no sólo proporcionan información cualitativa del estado de las condiciones, sino también cuantitativa mediante

un procedimiento denominado umbralización, un proceso de búsqueda de valores umbral, destinados a discretizar los rásters continuos. Es el paso clave y crítico para calcular superficies o categorizar rásters. Su uso más frecuente es distinguir píxeles con y sin vegetación (Ibarrola *et al.*, 2019). Para ello se utilizan distintos criterios estadísticos (como la media, la mediana, el primer cuartil, etc.). Puede variar según la estación y la ubicación.

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es especialmente adecuado para estimar la cantidad de clorofila, el rendimiento fotosintético y/o el índice de área foliar (LAI). Varía de -1 (hielo, asfalto, flujos de lava) a 1 (bosques tropicales, pico de crecimiento de cultivos, etc.). Se calcula como la respuesta de la reflectancia espectral de una superficie, utilizando este cociente. Para una aplicación de este método a datos reales del hábitat 9360, ver los ejemplos del Anexo 3.

3.1.5 Área favorable de referencia

El Área Favorable de Referencia (FRA) se define como la superficie de cada región biogeográfica considerada como la mínima necesaria para garantizar la viabilidad a largo plazo del tipo de hábitat..

Propuesta de determinación de la FRA a partir de la relación especie-área

Los conceptos centrales de la Teoría del Equilibrio de la Biogeografía Insular (ETIB) (MacArthur y Wilson, 1967) han sido ampliamente utilizados desde su formulación para el diseño de reservas naturales (Whittaker y Fernández-Palacios, 2007). La principal aportación de la ETIB a los gestores de áreas protegidas y a los profesionales de la biología de la conservación es el uso de las relaciones especie-área y especie-aislamiento, que pueden extrapolarse a las islas de hábitats, producto de la fragmentación de extensiones originales de hábitats continuos, y que controlan la riqueza de especies que pueden albergar dichos fragmentos.



La relación especie-área (SAR) describe la relación entre el número de especies y la superficie del hábitat (Rosenzweig, 1995). Se trata de una relación curvilínea que suele describirse mediante la función de potencia.

$$S = A^z$$

donde S es el número de especies, A es el área del hábitat y z es la pendiente de la relación.

La forma de la curva especie-área depende del tamaño corporal y de la historia vital del taxón, por lo que difiere según los distintos grupos bióticos (por ejemplo, vertebrados, artrópodos, plantas vasculares, etc.). También varía según los hábitats, ecosistemas y paisajes considerados, pero la forma general de la curva sigue siendo siempre la misma (Fig. 2).

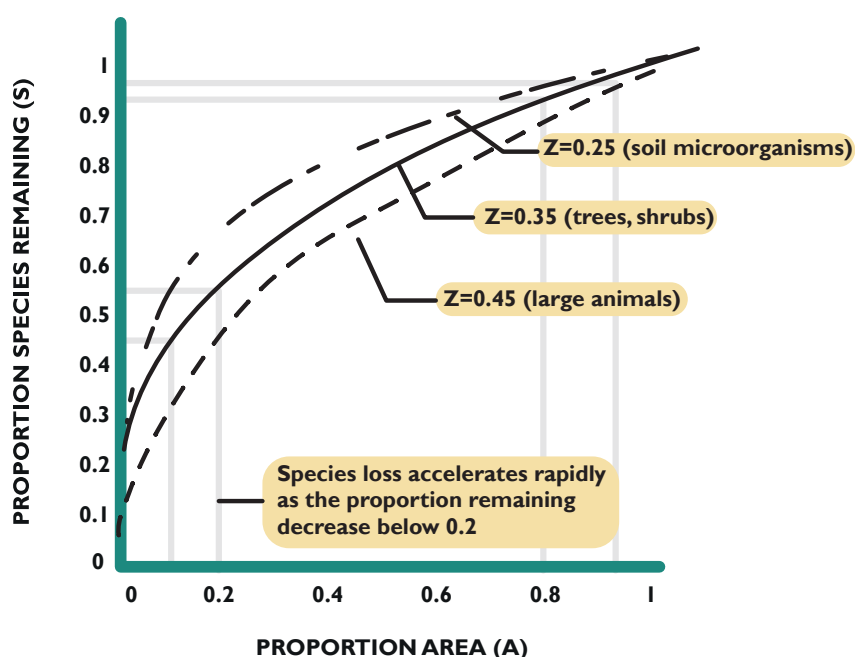


Figura 2: Relación especie-área (SAR) de la proporción de especies (S) que permanecen en un hábitat determinado con respecto a la proporción de área de hábitat (A) que permanece para taxones de diferente tamaño corporal ($z = 0,25, 0,35$ y $0,45$). Fuente: Walker *et al.*, 2005. [New Zealand's remaining indigenous cover: recent changes and biodiversity protection needs \(doc.govt.nz\)](https://www.doc.govt.nz/doc.govt.nz/publications/science-and-technical/indigenous-land-use/indigenous-land-use-research/new-zealand-s-remaining-indigenous-cover-recent-changes-and-biodiversity-protection-needs). DOC (Crown) copyright. CC BY 4.0 Deed | Attribution 4.0 International | Creative Commons).

Dado que las áreas más grandes siempre pueden albergar más especies, la SAR predice que cualquier pérdida de una fracción del área ocupada por un ecosistema, hábitat o comunidad provocará la pérdida de algunas especies asociadas a él. Con disminuciones iniciales de la superficie, la tasa de pérdida de especies puede ser relativamente baja (Fig. 2). La biota de cuerpo grande, dependiente de hospedadores, de rango estrecho y/o especializada en hábitats y la que depende de grandes hábitats contiguos tiende a ser la más afectada en esta fase. Sin embargo, a medida que se reduce más la superficie del hábitat, se produce una mayor magnitud de pérdida de la biodiversidad restante (Fig. 2). Pese a ello, y debido a la forma de la relación entre área y riqueza de especies, se prevé que incluso los últimos restos de hábitat sigan conteniendo una proporción significativa de la biodiversidad asociada a ese entorno.

Una relación especie-área con un exponente de 0,35 (es decir, la curva $z = 0,35$ de la Fig. 2) puede ser un «promedio» adecuado para aplicar a la protección de la biodiversidad, ya que se aproxima a la curva que cabría esperar para los componentes destacados de la vegetación. Un ejemplo son los árboles que estructuran la laurisilva, que se reconocen fácilmente (incluso mediante teledetección) y a menudo se utilizan pragmáticamente como sustitutos de otros elementos de la biodiversidad autóctona.

La SAR predice una tasa creciente de pérdida de biodiversidad a medida que disminuye la superficie del hábitat. Por ejemplo, la curva $z = 0,35$ predice que un cambio del 90 al 80% del hábitat restante eliminará el 3,9% del conjunto original de especies y el 4,0% de las que quedan en una zona, pero la reducción del 20 al 10% del hábitat restante elimina el 12,3% del conjunto original de especies y el 21,5% de las especies restantes (Walker et al., 2005).

Una mayor fragmentación del hábitat implica parcelas de hábitat normalmente más pequeñas y aisladas, y también dos grandes consecuencias para la conservación. Por un lado, la aparición del efecto borde (la penetración de las propiedades de la matriz y/o la biota en el

fragmento de hábitat), que puede afectar a toda la parcela si ésta tiene una forma alargada, y disminuye la supervivencia de las especies que sólo pueden prosperar en parcelas de hábitat no alterados. Por otro lado, las poblaciones que prosperen en el fragmento de hábitat tendrán tamaños poblacionales más pequeños y, si no se produce flujo genético entre las parcelas (lo que dependerá de la capacidad de dispersión de la especie objetivo), surgirá una depresión por endogamia que forzará la pérdida genética, lo que depauperará progresivamente el patrimonio genético de la población, llevándola al borde de la extirpación/extinción.

En Australia y otros países de la Commonwealth británica, el umbral de la proporción del área del hábitat original que hay que mantener (o recuperar, si la destrucción del hábitat ya lo ha superado) se ha fijado en el 15% de la superficie del hábitat original. Mientras que en Nueva Zelanda se incrementó hasta un 20% debido a su aislamiento y, en consecuencia, a los altos niveles de endemidad, (Walker et al., 2005).

Nuestra propuesta es definir el Área Favorable de Referencia como el **25%** de la distribución potencial del THIC 9360 (Fig. 3) porque:

- 1) 9360 es un hábitat prioritario endémico de la Macaronesia
- 2) 9360 posee un valor histórico muy importante como vestigio de la geoflora paleotropical europea
- 3) 9360 abarca una biodiversidad muy elevada, incluyendo un enorme número de endemismos, entre ellos árboles de dosel, hierbas, aves, insectos, arañas y moluscos, la mayoría de ellos distribuidos en una sola isla
- 4) 9360 proporciona servicios ecosistémicos muy importantes, como la fijación de carbono, la captura de niebla, la filtración de aire o la creación y retención de suelo.

Este umbral del 25% ya se ha alcanzado en Madeira y La Gomera.

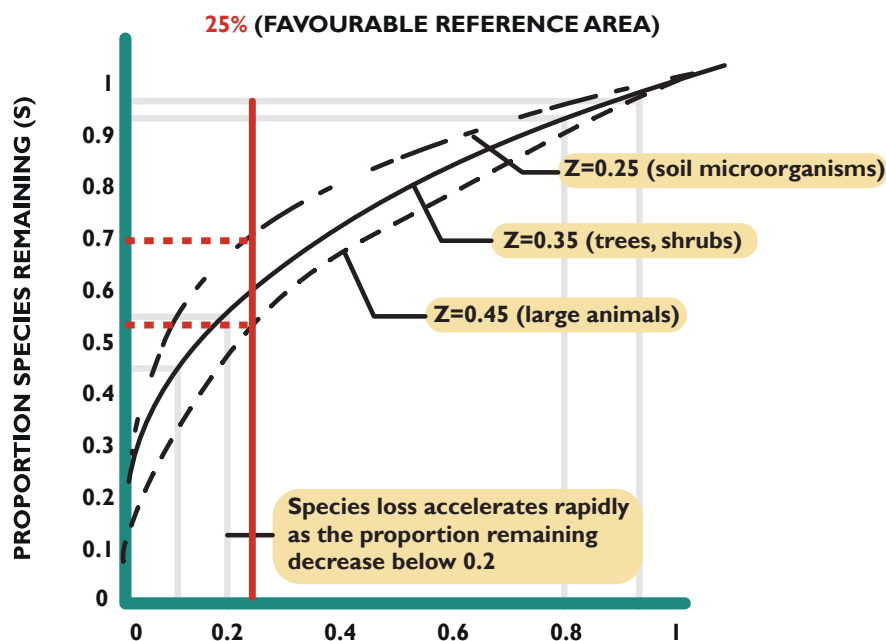


Figura 3: Según la SAR, la proporción de especies que persistirán conservando o restaurando un 25% de la distribución original del hábitat (líneas de puntos rojos) abarcará, dependiendo de los taxones, entre el **50-70%**, lo que es una proporción más que aceptable (Adaptado de Walker *et al.*, 2005. [New Zealand's remaining indigenous cover: recent changes and biodiversity protection needs \(doc.govt.nz\)](#). DOC (Crown) copyright. [CC BY 4.0 Deed | Attribution 4.0 International | Creative Commons](#)).

Jorge Capelo (2023) ha propuesto recientemente una forma esquemática gráfica muy útil para entender el significado de Rango Favorable de Referencia (FRR) y Área Favorable de Referencia (FRA), así como el Déficit Mínimo de Restauración (MRD) y el Déficit Extendido

de Restauración (ERD) necesarios para una conservación adecuada del 9360. La Figura 4 muestra las relaciones espaciales entre estos parámetros y la figura 5 los compara con sus valores de conservación.

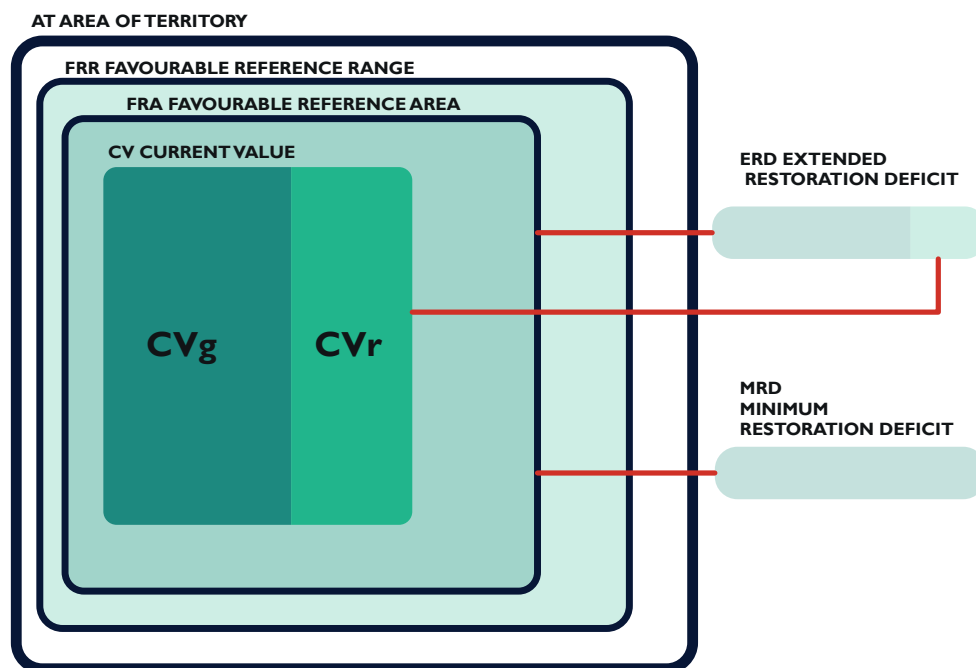


Figura 4: Distribución espacial anidada de los diferentes Valores Favorables de Referencia (FRV) para un tipo de hábitat determinado. Fuente: Capelo (2023), documento inédito.

Donde por sus siglas en inglés:

AT: Superficie del Territorio (ha) según el ámbito y la escala puede referirse a una isla determinada, a un archipiélago o a toda la Región Biogeográfica Macaronésica.

FRR: Rango Favorable de Referencia (ha) es la distribución potencial, pre-humana, del 9360 en una isla, archipiélago o en toda la Región Biogeográfica Macaronésica.

FRA: Área Favorable de Referencia (ha), es el área mínima viable para mantener el hábitat 9360 y las especies constituyentes en una Condición Favorable a largo plazo en una determinada isla, archipiélago o en toda la Región Biogeográfica Macaronésica. Sugerimos aquí que para lograr este objetivo el FRA tiene que ser (al menos) el 25% del FRR del 9360.

CV: Valor actual (ha) es la extensión de la distribución 9360, independientemente de su calidad y valor de conservación.

CVg: Valor actual en buen estado de conservación (ha) es la distribución actual de 9360 en buen estado de conservación.

CVr: Valor actual en mal estado de conservación, pero restaurable (ha) es la distribución actual de 9360 en mal estado de conservación, pero susceptible de ser restaurada ecológicamente.

MRD: Déficit Mínimo de Restauración, [FRA - CV] es la superficie mínima de 9360 que debe restaurarse para alcanzar el FRA.

ERD: Déficit Extendido de Restauración, [MRD + CVr], es la superficie que debe restaurarse para alcanzar la FRA en un buen estado de conservación.

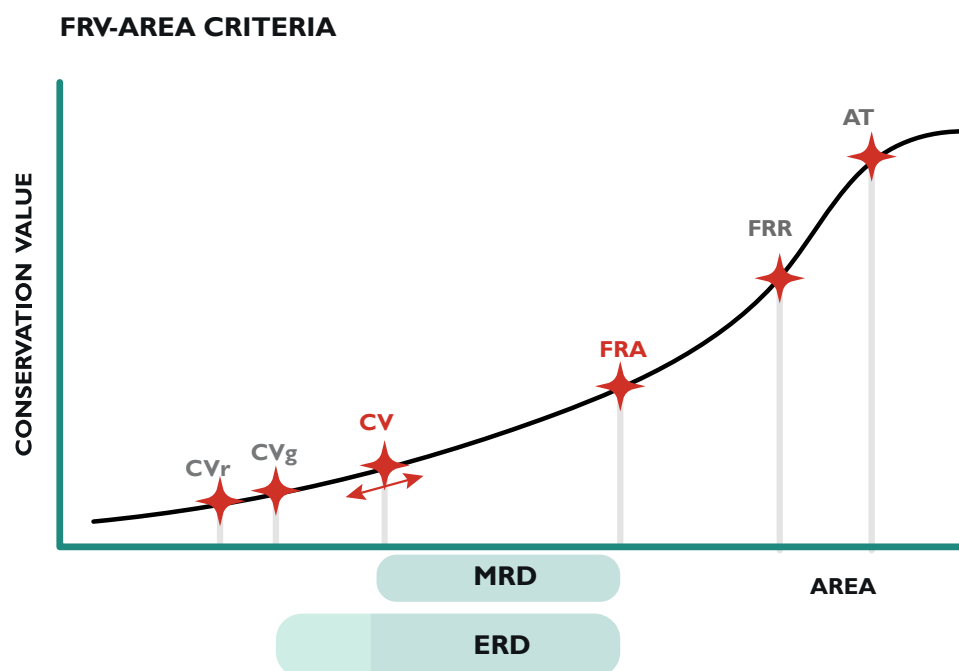


Figura 5: Distribución de los diferentes Valores Favorables de Referencia (VRF) en la parcela definidos por superficie (absisas) y valor de conservación (ordenadas). Fuente: Capelo (2023), documento inédito.

Las fuentes para el cálculo del Rango Favorable de Referencia (Distribución potencial 9360) y del Valor Actual (Distribución real 9360) en una determinada isla, archipiélago o en toda la región macaronésica han de ser los mapas de vegetación potencial y actual de los diferentes archipiélagos basados en información bioclimática y en imágenes de satélite y/o fotografías aéreas, respectivamente. El estado (calidad) de la distribución actual del hábitat

y, por tanto, el cálculo de CVg y CVr, debe basarse en inventarios de campo sobre su composición de especies, estructura y función, en los que deben utilizarse las distintas variables enumeradas anteriormente. En este contexto, podemos ilustrar con un sencillo ejercicio, cuál es el esfuerzo de restauración que debe llevarse a cabo en diferentes islas o archipiélagos para cumplir con el Área Favorable de Referencia (Tabla 6).

Parámetro (ha)	Pico	Tenerife	La Gomera	Azores	Madeira	Canarias	Macaronesia
AT	44 480	203 400	36 976	233 300	75 070	745 000	1 063 900
FRR	28 700	32 700	9 600	173 000	61 239	87 100	322 995
FRA (25% FRR)	7 175	8 175	2 400	43 250	15 310	21 175	80 749
CV	952	1 996	3 565	5 727	15 517	10 170	31 414
MRD	6 223	6 179	0*	37 523	0*	11 605	49 335

Tabla 6: Ejemplos del esfuerzo de restauración en el 9360 necesario para cumplir la FRA propuesta para las islas seleccionadas, los tres archipiélagos y la Macaronesia en su conjunto. * En La Gomera y Madeira, como el valor de extensión actual de 9360 es > que la FRA, sólo se necesitan esfuerzos de conservación, pero no de restauración, a menos que la calidad de estas zonas restantes, o de una fracción de ellas, sea inadecuada. Los nombres y definiciones de los parámetros figuran en el texto.

3.1.6 Análisis de tendencias

Antes de la llegada de los castellanos, el pueblo guanche (aborígenes canarios) ya había perturbado la distribución y las condiciones prístinas de la laurisilva con el uso del fuego, la recolección de frutos y, sobre todo, mediante la introducción de cerdos y oviscapridos que vagaron libremente por allí durante más de un milenio (de Nascimento *et al.*, 2020). Sin embargo, los principales impactos sobre el hábitat 9360 se produjeron tras la conquista de Canarias por los castellanos, y tras la colonización de Azores y Madeira (archipiélagos no habitados anteriormente) por los portugueses (Fernández-Palacios *et al.*, 2017). Los colonizadores europeos transformaron progresivamente las islas macaronésicas en centros de exportación de caña de azúcar, talando los bosques para satisfacer las necesidades de espacio para su cultivo y de madera para alimentar los ingenios azucareros. El resultado fue el inicio de una rápida deforestación de las islas (Santana, 2001; Triantis *et al.*, 2010; Otto *et al.*, 2017). Esto ha

durado con diferentes ritmos e intensidades, dependiendo del cambio de uso del suelo (principalmente hacia la agricultura en Canarias y Madeira, y hacia el pastoreo de ganado y la silvicultura en Azores), hasta la década de 1960, cuando el turismo de masas sustituyó a la agricultura de exportación como motor económico de las islas, especialmente en Madeira y Canarias.

Desde entonces, y debido al cambio del modelo de desarrollo económico de las islas desde las medianías hacia las costas, el abandono de las zonas cultivadas y de pastoreo permitió una lenta, pero imparable, recuperación espontánea del THIC 9360 allí donde las condiciones ecológicas lo permitían (es decir, existencia de fragmentos 9360), recuperación que aún continúa. Es decir que, al menos para Madeira y las Canarias occidentales, la extensión y el estado actual de la laurisilva es quizás el mejor de los últimos siglos. Sin embargo, allí donde no se produjeron tales cambios en el uso del suelo (Azores), o en las condiciones ecológicas (Gran Canaria), la situación del 9360 sigue siendo precaria (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).



Pyrrhula murina, Isla de São Miguel Island (Azores). Foto: Eduardo Dias

3.2 Estructura y función

3.2.1. Evaluación actual del parámetro de estructura y función (según el art. 17 elaboración de informes)

A pesar de la existencia de algunos aspectos comunes, las metodologías utilizadas para la evaluación de la estructura y función del hábitat en cada archipiélago son diferentes. Es necesario disponer de procedimientos armonizados, en particular para el trabajo de campo, de modo que los resultados obtenidos en los distintos archipiélagos de la región biogeográfica y a lo largo del tiempo dentro de un mismo archipiélago puedan ser comparables. A continuación, sugerimos un enfoque de armonización metodológica

3.2.2 Propuesta de armonización de la metodología de evaluación y seguimiento

Las metodologías comunes para evaluar y supervisar el estado del hábitat (estructura y función) deben incluir los siguientes elementos:

- Variables para evaluar las características pertinentes del hábitat, métricas y métodos de medición, incluido el posible uso de fuentes de datos existentes:
 - Abióticas: físicas, químicas
 - Bióticas: composición, estructura y función
 - Otras: variables basadas en la presión, etc.
 - Estructura del paisaje: conectividad y fragmentación
- Valores de referencia y umbrales de cada variable para determinar su estado
- Método para la agregación de variables: escala local y supralocal.
- Métodos y protocolos de seguimiento, selección de localidades de seguimiento.

3.2.2.1 Propuesta de variables e índices para la evaluación de la estructura y función del estado del hábitat 9360:

Las variables y los índices para determinar el estado de conservación del 9360 tienen que estar claramente definidos, su procedimiento de medición explicado sin ambigüedades, y tienen que ser fáciles de medir por personas no expertas, así como informativos y diagnósticos del estado de conservación del hábitat.

A continuación, se presenta una primera propuesta de conjunto de variables para evaluar y diagnosticar la estructura y función del hábitat, a partir de su caracterización ecológica, que se resume en la Tabla 7.

VARIABLES ABIÓTICAS

a) Índices climáticos (se necesitan mediciones a lo largo de varios años)

1. Días sin protección del mar de nubes (nº días/año)
2. Cantidad de goteo de niebla (mm/año)

b) Índices edáficos

1. PH del suelo
2. Contenido de materia orgánica del suelo (mg/g de suelo)
3. Relación C/N del suelo

VARIABLES BIÓTICAS

a) Índices estructurales

1. Altura del dosel (m)

Procedimiento de medición: En cada parcela se medirá la altura del dosel en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela) utilizando un Blume-Leiss o un dispositivo similar.

Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

2. Número de clases de altura (o de diámetro a la altura del pecho (DAP)) representadas

Procedimiento de medición: En cada parcela se calculará el número de clases de altura (o de DAP) existentes (utilizando criterios estandarizados, es decir, una clase de altura cada 5 m, y una final de > 30 m) o una clase de DAP cada 10 cm y una final de > 1 m).

Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

3. Área basal de la comunidad (m²/ha)

Procedimiento de medición: En cada parcela se medirá el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP, en cm) de todos los ejemplares de más de 2 m, y este DAP se transformará en el BA de las especies existentes en la parcela y, sumándolas, de la comunidad.

Estado:

- Favorable: Área basal > 30 m²/ha
- Desfavorable-inadecuado: Área basal 15-30 m²/ha
- Desfavorable-malo: Área basal < 15 m²/ha

4. DAP medio de la parcela (cm)

Procedimiento de medición: En cada parcela se medirá el Diámetro a la Altura del Pecho (DAP, en cm) de todos los ejemplares de más de 2 m y se calculará su valor medio para todas las especies.

Estado:

- Favorable: DAP medio > 20 cm
- Desfavorable-inadecuado: DAP medio 10-20 cm
- Desfavorable-malo: DAP medio < 10 cm

5. Densidad de árboles grandes (DAP > 40 cm) (ind./ha)

Procedimiento de medición: Dentro de la parcela, deberá contarse el número de individuos de

especies autóctonas con DAP > 40 cm. Si los individuos tienen varios troncos, hay que medir el DAP de cada tronco y considerar si la suma del área basal de los troncos es igual a 1/8 m².

Estado:

- Favorable: > 10 individuos de > 40 cm DAP / ha
- Desfavorable-inadecuado: 5-10 individuos de > 40 cm DAP /ha
- Desfavorable-malo: ejem. < 5 individuos de > 40 cm DAP /ha

6. Biomasa (t/ha) (opcional)

Procedimiento de medición: se calculará la biomasa de la comunidad utilizando las ecuaciones alométricas disponibles para cada especie arbórea.

Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

Nota: Como este parámetro está fuertemente correlacionado con el área basal, quizá se debería optar por uno de los dos. Es mucho más fácil medir el área basal, porque puede que no existan ecuaciones alométricas para todas las especies.

7. Índice de área foliar (LAI) (adimensional)

Procedimiento de medición: En cada parcela se medirá el LAI en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela) utilizando un medidor de LAI.

Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

8. Hojarasca (t/ha)

Procedimiento de medición: En cada parcela se recogerá la hojarasca existente hasta llegar al suelo mineral en subparcelas de 1 x 1 m situadas en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela). La hojarasca se pesará en húmedo (*in situ*) y en seco (laboratorio) y los resultados se expresarán en peso seco por área.



Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

9. Cantidad de madera muerta en pie y tumbada (t/ha) (opcional)

Procedimiento de medición: en cada parcela se evaluará la madera muerta en pie y tumbada en subparcelas de 1 x 1 m situadas en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela). La madera muerta se pesará en húmedo (*in situ*) y en seco (laboratorio) y los resultados se expresarán en peso seco por área.

Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

b) Índices de composición

10. Riqueza del dosel

Procedimiento de medición: se calculará la riqueza del dosel contando el número de especies arbóreas autóctonas que participan en el dosel forestal.

Evaluación del estado: la definición de los umbrales de buen, inadecuado y mal estado se elaborará a partir de valores de referencia.

NOTA: Sólo se pueden hacer comparaciones de riqueza de especies si las áreas de las zonas comparadas son iguales

11. Composición de las especies de dosel

Procedimiento de medición: se hará la lista de las especies de dosel dentro de una parcela,

Estado:

- Favorable: ausencia de especies exóticas.
- Desfavorable-inadecuado: presencia de especies exóticas (*Pinus spp.*, *Eucalyptus spp.*, *Castanea sativa*, *Pittosporum undulatum*, *Cryptomeria japonica*, *Acacia mearnsi*, *Robinia pseudoacacia*, etc.).
- Desfavorable-malo: predominio (BA) de especies exóticas.

12. Composición de la comunidad aviar

Procedimiento de medición: se realizarán transectos lineales (cuyo número, longitud, anchura y duración serán fijados por expertos) en toda la zona evaluada para determinar la frecuencia y/o abundancia de las distintas especies que integran la comunidad de avifauna del 9360.

Estado:

- Favorable: ausencia de especies exóticas
- Desfavorable-inadecuado: presencia de especies exóticas
- Desfavorable-malo: predominio de especies exóticas.

13. Composición de la comunidad de invertebrados del suelo (artrópodos y moluscos)

Procedimiento de medición: se llevará a cabo un procedimiento de muestreo (que fijarán los expertos) en toda la zona evaluada para determinar la frecuencia/abundancia de las distintas especies que integran la comunidad de fauna invertebrada del suelo.

Estado:

- Favorable: ausencia de especies exóticas
- Desfavorable-inadecuado: presencia de especies exóticas
- Desfavorable-malo: predominio de especies exóticas.

c) Índices funcionales:**14. Composición de la regeneración**

Procedimiento de medición: En cinco subparcelas de 1 x 1 m (las cuatro esquinas y el centro de la parcela), evaluar la composición de la regeneración (comunidad de plántulas).

Estado:

- Favorable: ausencia de plántulas de especies exóticas
- Desfavorable-inadecuado: presencia de plántulas de especies exóticas
- Desfavorable-malo: predominio de plántulas de especies exóticas

El seguimiento de otros dos índices de la función del hábitat (*15. Productividad primaria neta* y *16. Tasa de descomposición de la hojarasca*) sería muy interesante, pero su evaluación requeriría varios años (al menos tres), lo que los hace más problemáticos. Pueden considerarse **opcionales**.

Variables abióticas		
Variables climáticas	Procedimiento de medición	Evaluación del estado
Días sin protección del mar de nubes (nº d/a)	Recopilar datos fiables de la estación o estaciones meteorológicas más cercanas	basada en valores de referencia
Cantidad de goteo de niebla (mm/año)	Recopilar datos fiables de la estación o estaciones meteorológicas más cercanas	basada en valores de referencia
Variables edáficas		
pH del suelo	En cinco parcelas (las cuatro esquinas y el centro de la parcela), se tomarán muestras de suelo y se evaluará el pH del suelo con un pH-metro	basada en valores de referencia
Contenido en materia orgánica del suelo (SOM)	En cinco parcelas (las cuatro esquinas y el centro de la parcela), se tomarán muestras de suelo y se evaluará la SOM mediante la pérdida por ignición (LOI)	basada en valores de referencia
Relación C/N del suelo	En cinco parcelas (las cuatro esquinas y el centro de la parcela), se tomarán muestras de suelo y se evaluará la relación C/N del suelo	basada en valores de referencia



Variables bióticas		
Variables estructurales	Procedimiento de medición	Evaluación del estado
Altura del dosel (m)	En cada parcela se medirá la altura del dosel en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela) utilizando un Blume-Leiss.	basada en valores de referencia
Número de clases de altura (o de diámetro a la altura del pecho (DAP)) presentes	En cada parcela se calculará el número de clases de altura (o DAP) existentes (una clase de altura cada 5 m, y una final de > 30 m) o una clase de DAP cada 10 cm y una final de > 1 m).	basada en valores de referencia
Área basal (BA) (m ² /ha)	En cada parcela se medirá el DAP (cm) de todos los ejemplares superiores a 2 m y se transformará en el BA de las especies existentes en la parcela y, sumándolas, de la comunidad.	Favorable: BA > 30 m ² /ha Inadecuado: BA 15-30 m ² /ha Malo: BA < 15 m ² /ha
DAP medio de la parcela (cm)	En cada parcela se medirá el DAP (cm) de todos los ejemplares > 2 m y se calculará su valor medio para todas las especies.	Favorable: DAP medio > 20 cm Inadecuado: DAP medio 10-20 cm Malo: DAP medio < 10 cm
Densidad de árboles grandes (DAP > 40 cm) (ind./ha)	Dentro de la parcela, deberá contarse el número de individuos de especies autóctonas con DAP > 40 cm. En el caso de árboles con varios troncos, debe medirse el DAP de cada tallo y tenerse en cuenta si el BA del árbol es > 1/8 m ² .	Favorable: > 10 individuos /ha Inadecuado: 5-10 individuos /ha Malo: < 5 individuos /ha
Biomasa (t/ha) (opcional)	En cada parcela, se calculará la biomasa de la comunidad utilizando las ecuaciones alométricas disponibles para cada especie arbórea	basada en valores de referencia
Índice de área foliar	En cada parcela se medirá el LAI en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela) utilizando un medidor de LAI.	basada en valores de referencia
Hojarasca (t/ha)	En cada parcela se recogerá la hojarasca hasta llegar al suelo mineral en subparcelas de 1 x 1 m situadas en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela). La hojarasca se expresará en peso seco por superficie.	basada en valores de referencia
Cantidad de madera muerta (t/ha) (opcional)	en cada parcela se evaluará la madera muerta en pie y tumbada en subparcelas de 1 x 1 m situadas en cinco puntos (las cuatro esquinas y el centro de la parcela). La madera muerta se pesará en húmedo (in situ) y en seco (laboratorio) y los resultados se expresarán en peso seco por área.	basada en valores de referencia

Variables de composición		
Riqueza del dosel	Se calculará la riqueza del dosel contando el número de especies arbóreas autóctonas que participan en el dosel forestal de la parcela.	basada en valores de referencia
Composición de las especies de dosel	Se hará una lista de las especies de dosel dentro de una parcela	Favorable: ausencia de especies exóticas. Inadecuado: presencia de especies exóticas Malo: dominancia (área basal) de especies exóticas.
Composición de la comunidad aviar	Dependiendo de la decisión de los expertos se realizará un determinado número de transectos (largo, ancho, tiempo) a lo largo de la zona evaluada para determinar la frecuencia y/o abundancia de las diferentes especies que integran la comunidad de avifauna.	Favorable: Ausencia de especies de aves exóticas Inadecuado: Presencia de especies de aves exóticas Malo: Dominio de especies de aves exóticas.
Composición de la comunidad de invertebrados del suelo (artrópodos y moluscos)	Se llevará a cabo un procedimiento de muestreo en toda la zona evaluada para determinar la frecuencia/abundancia de las distintas especies que integran la comunidad de fauna invertebrada del suelo.	Favorable: Ausencia de especies exóticas de invertebrados (artrópodos/moluscos) Inadecuado: Presencia de especies exóticas de invertebrados (artrópodos/moluscos) Malo: Dominio de especies exóticas de invertebrados (artrópodos/moluscos).
Variables funcionales		
Composición de la regeneración	En cinco subparcelas de 1 x 1 m (cuatro esquinas y el centro de la parcela), se evaluará la composición de la regeneración	Favorable: ausencia de plántulas de especies exóticas Inadecuado: presencia de plántulas exóticas Malo: predominio de plántulas de especies exóticas
Productividad primaria neta (t/ha a) (opcional)	Utilizando cinco trampas de hojarasca por parcela se medirá el seguimiento de la lluvia de hojarasca a lo largo del tiempo y se calculará el NPP	basada en valores de referencia
Velocidad de descomposición de la hojarasca (valor k) (opcional)	Utilizando varias bolsas de hojarasca con un contenido conocido de hojarasca del suelo, se medirá la disminución en el tiempo del peso de la hojarasca y se calculará la tasa de descomposición (k)	basada en valores de referencia

Tabla 7: Propuesta de las variables abióticas (climáticas y edáficas) y bióticas (estructurales, composicionales y funcionales) que deben ser monitorizadas para el diagnóstico del estado del THIC 9360.

3.2.2.2 Propuesta de definición de valores de referencia y umbrales para evaluar la estructura y la función a partir de variables medidas

En la búsqueda de índices para evaluar el estado del THIC 9360 hay que tener en cuenta que para muchos índices necesitaremos **valores de referencia**, es decir, los valores de los parámetros buscados existentes en los **rodal mejor conservados de la distribución actual del tipo o subtipos de hábitat 9360**. El valor de referencia de cada parámetro **no será un valor medio, sino un rango de valores**. Esto dependerá del archipiélago, isla, exposición, inclinación, subtipo de hábitat, etc. Cada rodal debe compararse con el valor de referencia de uno o varios rodales bien conservados con condiciones de conservación y ubicaciones similares.

Ubicaciones de referencia

La evaluación y diagnóstico del estado de los diferentes subtipos del hábitat 9360 necesitará de la designación de ubicaciones bien conservadas donde analizar las diferentes variables abióticas y bióticas que servirán de referencia para la posterior comparación con las variables medidas en el resto de las ubicaciones. Con ese objetivo, hemos pedido a los expertos del 9360 de cada isla y archipiélago que hagan una selección de esos lugares privilegiados. Estos datos se recogen en la Tabla 8.

Subtipo 9360	Flores	Faial	Pico	S. Jorge	Terceira	S. Miguel	S. María
Bosque de zonas bajas (<i>Picconia-Morella</i>) (sensu Elias et al., 2016) Bosque siempreverde supramediterráneo (<i>Picconia-Morella</i>) (sensu Dias et al., 2012)	Ponta do Ilhéu (Ponta Delgada)	Varadouro	Ponta da Ilha; Piedade	—	Fajã da Serreta	-	Barreiro da Faneca-Baía do Raposo; Malbusca
Bosque planifolio subtropical (<i>Laurus-Frangula</i>) (sensu Dias et al., 2012) [no reconocido por Elias et al., 2016]		Ribeira do Cabo	Mistério da Prainha	Fajã do Castelhana	Dorsal de Serreta;	Achadinha	
Bosque submontano de <i>Laurus</i> (<i>Laurus-Ilex</i>) (sensu Elias et al., 2016) Bosque planifolio oceánico (<i>Laurus-Ilex</i>) (sensu Dias et al., 2012)	Valle de Ribeira das Aguinhas	Base da Caldeira	Mistério da Prainha; Caminho dos Burros; Norte das Lajes; Cabecinhos; entre São João e Pico da Urze	A Norte do Pico Pinheiro; Ponta dos Rosais; Ribeira Seca;	Biscoito da Ferraria e Pico Alto; Terra Brava; Quatro Ribeiras; Caldera de Santa Bárbara	Ribeira do Guilherme; Tronqueira	—

Subtipo 9360	Madeira
Laurisilva de Barbusano (<i>Apollonias-Ilex</i>)	Ribeira Funda
Laurisilva de Til (<i>Ocotea-Clethra</i>)	Levada do Folhadal; Montado dos Pessegueiros; Galhano; Boaventura - Achada do Touco; Fajã da Nogueira - Rochão dos Vinháticos; Seixal - Chão da Ribeira; Ribeira Grande de São Vicente

Subtipo 9360	Gran Canaria	Tenerife	La Gomera	La Palma	El Hierro
Laurisilva seca (<i>Apollonias, Picconia</i>)		Aguirre; Barranco de Badajoz	Aceviños	Breña Alta	Mencáfete
Bosque húmedo de laurisilva (<i>Laurus, Ilex</i>)	Los Tiles de Moya	Nieto; Monte del Agua; Las Palomas; Vueltas de Taganana	Meriga; Noruegos	Los Tilos; La Galga	
Bosque frío de laurisilva (<i>Morella, Erica arborea</i>)		Erjos	Altos del Garajonay	Roque Faro	Las Jayas
Bosque de cresterías de laurisilva (<i>Erica platycodon</i>)		Chinobre	Inchereda		
Bosque higrófilo (húmedo) de laurisilva (<i>Ocotea</i>)		Ijuana; El Pijaral	El Cedro; La Meseta	Marcos y Cordero	Garoé

Tabla 8: Propuesta de los expertos sobre la ubicación de los lugares de referencia de subtipos 9360 para estimar el estado del hábitat. Para las Azores (a), los expertos han sido Rui Elias y Eduardo Dias. Para Madeira (b) los expertos han sido Miguel Menezes de Sequeira, Jorge Capelo y Carlos Lobo, y, por último, para Canarias (c) los expertos han sido Ángel Fernández y José María Fernández-Palacios.

Elementos adicionales para la evaluación y el seguimiento del estado del hábitat

Una vez definidas y acordadas las variables, y establecidos los niveles y umbrales de referencia para evaluar su estado, será necesario definir métodos de agregación para calcular índices compuestos que permitan determinar cuándo el hábitat se encuentra en buen o mal estado o condición. Esto se hace primero a escala local, es decir, a nivel de la parcela o lugar donde se miden las variables, y después a escala supra-local, es decir, a nivel de la isla, archipiélago o región biogeográfica.

Según las directrices para la elaboración de informes con arreglo al artículo 17 de la

Directiva Hábitats, la estructura y la función del hábitat se encuentran en estado favorable en la región biogeográfica cuando se ha evaluado su buen estado en el 90% de su superficie. En cambio, si el 25% de la superficie del hábitat se evalúa como en mal estado, la evaluación global de la estructura y función en la región biogeográfica es desfavorable.

Además, también será necesario armonizar los métodos y protocolos de seguimiento, incluidos los criterios de selección de las localidades de seguimiento.

3.2.2.3 Estrategia de muestreo para evaluar el estado de conservación del hábitat 9360

La evaluación y el seguimiento del estado o condición del 9360 (estructura y función) requiere el diseño de una **red de parcelas permanentes**. Esta red tiene que ser lo suficientemente amplia como para representar correctamente la distribución geográfica y la diversidad ecológica del 9360 (todos los subtipos deben estar adecuadamente representados) y contener parcelas distribuidas tanto dentro como fuera de la red Natura 2000, además de las parcelas de referencia.

Las parcelas deben estar marcadas de forma permanente (con barras de hierro en sus

esquinas) como **cuadrados de 50 m de longitud (superficie = 0,25 ha)** cuando sea posible (Fig. 6), y ser objeto de seguimiento con la misma frecuencia (**seis años**) que la necesaria para informar a la Unión Europea. Las imágenes del satélite Sentinel de la Agencia Espacial Europea trabajan con una resolución de 10 m x 10 m (cuatro bandas espectrales: visible + infrarrojo), o de 20 m x 20 m (hasta 10-14 bandas espectrales). En consecuencia, podría ser favorable trabajar con parcelas que midan múltiplos de esos tamaños, como 20 m x 20 m (0,04 ha) o mejor 40 m x 40 m (0,16 ha). En este caso, las parcelas de 50 m x 50 m ya instaladas podrían reducirse fácilmente.

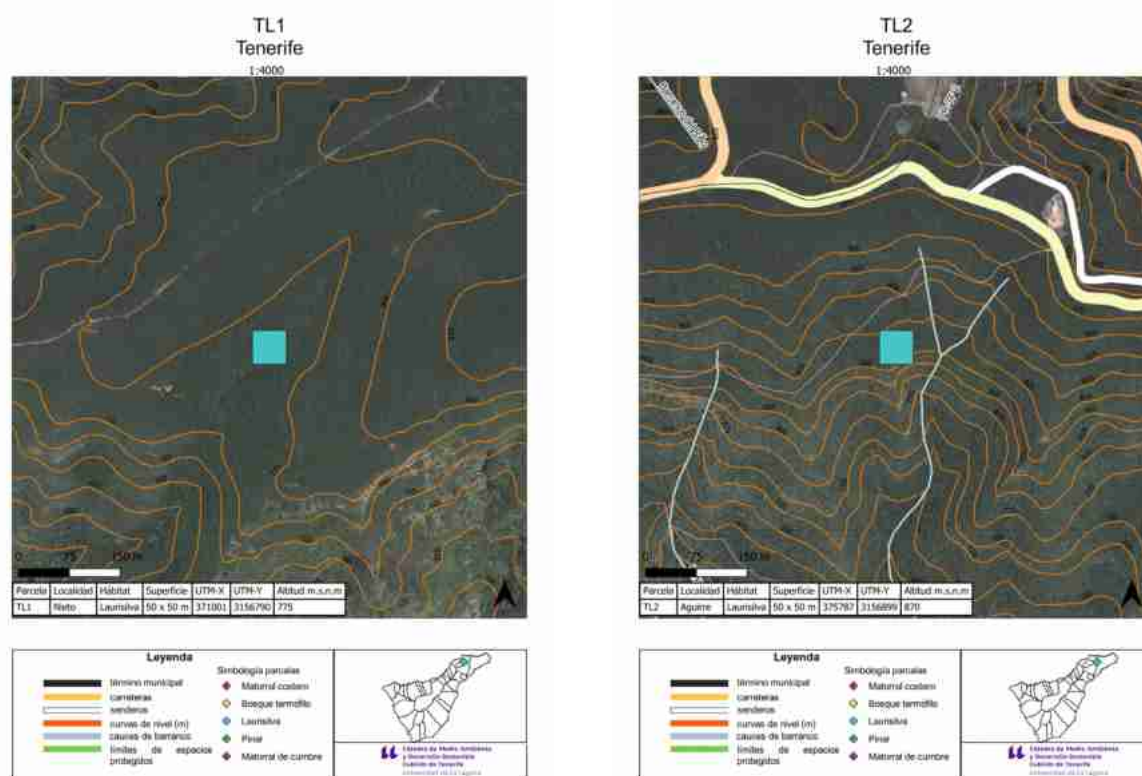


Figura 6: Ejemplos de dos parcelas permanentes del THIC 9360 de 50 x 50 m instaladas en el Parque Rural de Anaga (Tenerife) (Nieto y Aguirre, respectivamente) para el seguimiento y adquisición de datos para su comparación a partir de parcelas de referencia.

En este esfuerzo, las parcelas permanentes ya existentes y activamente encuestadas de los **Inventarios Forestales Nacionales** de los diferentes países pueden añadirse para cumplir estos objetivos y contribuir con la información necesaria sobre las variables monitorizadas (Alberdi *et al.*, 2017, 2019). Será útil saber hasta qué punto los inventarios forestales existentes pueden cubrir estas necesidades y proporcionar la información necesaria para las variables seleccionadas (Pescador *et al.*, 2022). Otra opción sería integrar las variables necesarias en dichos Inventarios Forestales Nacionales. La

situación óptima hubiera sido que los diferentes archipiélagos tuvieran parcelas permanentes de seguimiento en las áreas de distribución del 9360, de forma que pudiéramos incorporar la función, el estado y su variación temporal en la evaluación de la estructura del 9360. En la actualidad, los tres archipiélagos cuentan con Inventarios Forestales Nacionales (véase la Tabla 9) (IFRAA 1; IFRAM 1, 2; IFN 1, 2, 3, 4), en los que se ha fijado sistemáticamente un número variable de parcelas permanentes (en función de la superficie insular) y se han inventariado en diferentes momentos del pasado (ver Tabla 9).

Archipiélago/Isla	Parcelas de muestreo de los Inventarios Forestales	De ellos parcelas en el 9360	Fuente
Azores	?	?	IFRAA 1 (2007-?)
Madeira	385	?	IFRAM 1 (2004-2008) IFRAM 2 (2008-2015)
Canarias	1737 (IFN 2) 2470 (IFN 3) 1971 (IFN 4)	Gran Canaria: ? Tenerife: 26 (IFN 3) La Gomera: 27 (IFN 3) La Palma: 30 (IFN 3) El Hierro: ?	IFN 1 (1965-1974) IFN 2 (1986-1996) IFN 3 (1997-2007) IFN 4 (2008-actualidad)

Tabla 9: Número de parcelas de Inventario por isla y archipiélago, y cuántas de ellas representan el 9360. ?: falta de conocimiento.

Como estas parcelas permanentes se han localizado sistemáticamente, pueden estar dentro o fuera de la red Natura 2000, y pueden representar el hábitat 9360, otros hábitats

forestales o incluso plantaciones. Debido a su calidad, se espera que todas las parcelas de referencia pertenezcan a zonas protegidas de Natura 2000 (ver Fig. 7).

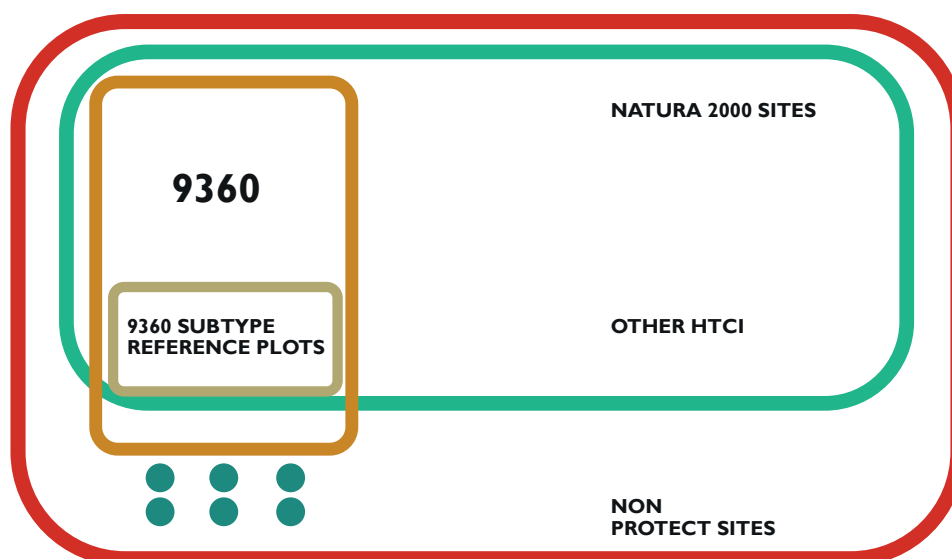


Figura 7: Estrategia de muestreo para la evaluación del estado de los hábitats de 9360, utilizando diferentes parcelas permanentes dentro o fuera de la red Natura 2000 que representan al 9360 para evaluar su estado y compararlo con las parcelas de referencia de las diferentes islas y archipiélagos.

Desgraciadamente, la densidad, la ubicación, el tamaño, la forma, los procedimientos de muestreo y el periodo de seguimiento de las parcelas permanentes no coinciden en todos los archipiélagos. Por ejemplo, se centran más en las plantaciones forestales de especies exóticas en las Azores, sin prestar tanta atención a las masas forestales naturales de laurisilva. En Canarias, las parcelas se sitúan en cada intercepción de cuadrículas UTM de 500 x 500 m, y las parcelas son círculos con $r = 25$ m, lo que significa una superficie = 0,19625 ha, que se sitúa entre la superficie de una parcela de 40

x 40 m (0,16 ha) y la de una parcela de 50 x 50 m (0,25 ha).

La figura 8 muestra que, para la isla de La Gomera, las 27 parcelas permanentes del 9360 del IFN 3, se encuentran todas (salvo dos) dentro del Parque Nacional de Garajonay. El planteamiento implicaría que sólo algunas de estas parcelas (4-6) se utilizarían como referencia del excelente estado del hábitat de los diferentes subtipos (ver Tabla 8), mientras que el resto de las parcelas permanentes de La Gomera permitirían la evaluación temporal del estado 9360.

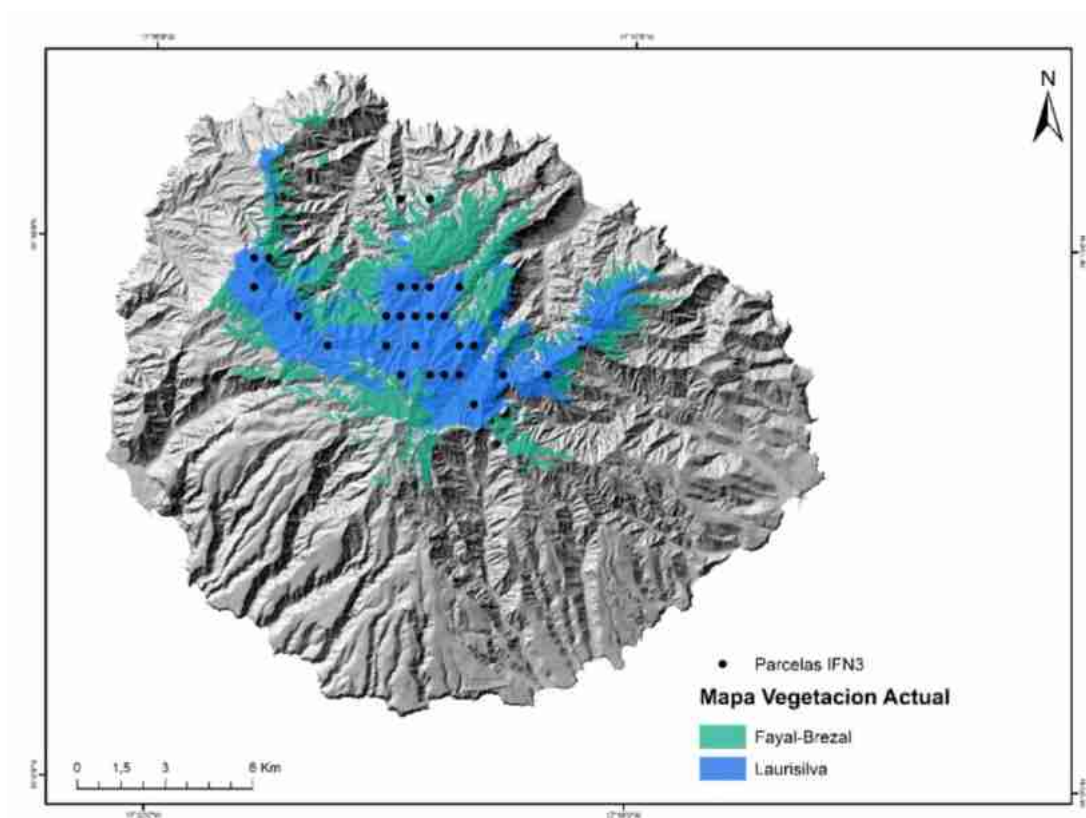


Figura 8: Distribución de las 27 parcelas permanentes del 9360 del IFN 3 en La Gomera. Fuente: Otto *et al.*, (2022), inédito.

Es evidente que sólo una parte de los datos necesarios para evaluar el estado de la masa forestal (véanse más arriba los parámetros que deben recopilarse), especialmente la fracción estructural (área basimétrica, densidad, DAP medio, altura del dosel, clases de altura y DAP, etc.) del hábitat 9360, podría obtenerse a partir de los diferentes Inventarios Forestales

Nacionales relacionados con estas parcelas permanentes. El resto de ellas, especialmente las relativas al sotobosque y a la composición faunística (tanto de vertebrados como de invertebrados), deberán obtenerse mediante nuevos muestreos en las mismas parcelas.

3.2.2.4 Selección de localidades y parcelas de seguimiento

Criterios de selección de las localidades y parcelas de seguimiento

La selección de localidades y parcelas de seguimiento debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Significación estadística teniendo en cuenta la extensión/área del hábitat
- Representatividad de la diversidad ecológica, es decir, representación de todos los subtipos
- Ecosistemas de referencia

Significación estadística de la muestra

El primer paso es la determinación del número de parcelas que se deben evaluar teniendo en cuenta la superficie total del tipo de hábitat en la zona geográfica en la que se va a establecer la red de seguimiento. Para ello, sería necesario establecer un número mínimo de parcelas para **cada uno de los subtipos 9360 existentes**, a fin de garantizar la significación estadística de la muestra y la representatividad de la superficie total.

Propuesta metodológica para la elección del tamaño de la muestra 9360

Justificación: La evaluación del estado 9360 se centra en saber si la estructura y la función del tipo de hábitat se encuentran en un **estado desfavorable en > 25% de su distribución actual** (si esto ocurre, se considera que el hábitat en su conjunto tiene un **estado desfa-**

vorable). En consecuencia, necesitamos establecer un **tamaño de muestra** para estimar una proporción (es decir, la **proporción** del tipo de hábitat que se encuentra en un estado desfavorable y la que se encuentra en un estado favorable).

Según Thompson (2012), el tamaño de la muestra necesario para estimar una proporción puede calcularse mediante esta fórmula:

$$n_0 = [(z^2) \cdot (1-p) \cdot p] / (d^2)$$

donde n_0 es el tamaño de la muestra (número de parcelas por instalar); z es el valor del *error alfa/2* deseado (normalmente 1,96, si el *error alfa estándar deseado* = 0,05); d es la precisión requerida, y p y $1-p$ son las estimaciones de ambas proporciones (condiciones favorables y desfavorables). Como p no puede conocerse a priori, sustituimos este valor por el peor posible: 0,5

Por ejemplo, según la Tabla 10, para conocer el tamaño de muestra adecuado para estimar la proporción de estructura y función desfavorables en un hábitat determinado, con una precisión **del 5%**, necesitaríamos muestrear **384** parcelas. Con este número de parcelas instaladas, la **proporción estimada** sería de $\pm 5\%$ del valor real, lo que significa que teóricamente se puede confundir un **valor real** del 28% de las parcelas del hábitat en estado **desfavorable malo** con un 23% estimado. Esto daría lugar a la decisión de determinar que el hábitat en su conjunto no se encuentra en un estado **desfavorable malo**, cuando en realidad sí lo está.

Precisión	Número de parcelas necesarias
0.20	24
0.15	42
0.10	96
0.05	384
0.01	9604

Tabla 10: Parcelas necesarias para una precisión dada para un valor de $z = 1,96$ y un *error alfa* = 0,05. Fuentes: Pescador et al., 2019; Thompson, 2012.

Por otro lado, se puede considerar un **valor real** del 23% de parcelas de hábitat en estado **desfavorable malo** como un 28% estimado, lo que daría lugar a pensar que está en estado **desfavorable malo** cuando en realidad no lo está. Obviamente, trabajar con menos precisión (es decir, $10\% = \pm 10\%$, del 15 al 35% de incertidumbre) aumentará la probabilidad de que se produzcan estos errores.

Consideramos que sería preferible trabajar en la evaluación del estado del 9360 con una **precisión del 5% en lugar del 10%** (es decir, localizando **384 parcelas, excluidas las de referencia**, en toda la Macaronesia). Esto se debe a que el 9360 es un Tipo de Hábitat de Interés Comunitario peculiar, lo que significa que, aunque su extensión global no es muy grande (distribución potencial = 323 000 ha; distribución actual = 31 414 ha) (Tabla 3), está fragmentado de forma natural en **tres archipiélagos** (Azores, Madeira y Canarias) y unas **15 islas**. Cada una tiene sus propias características biogeográficas y especies endémicas. También contiene **10 subtipos de hábitats**, cada uno de ellos con sus propios valores climáticos característicos, especies, estructura y función. **Esto implica que todas las combinaciones subtipo/isla mostrarán diferencias y, por lo tanto, deben ser muestreadas.**

En la actualidad existen **unas 35 combinaciones diferentes de subtipos/islas del 9360**, lo que significa que éste es el número mínimo de parcelas de referencia que necesitaríamos para tenerlas todas representadas. Si se toma la decisión de **replicar las parcelas de referencia** (algo deseable que mejorará las comparaciones), se **necesitarán al menos 70 parcelas (para dos réplicas) o 105 parcelas (para tres réplicas) por combinación de subtipo/isla**, cifras a las que hay que **añadir** los muestreos en las **parcelas que no son de referencia**.

Un procedimiento de trabajo interesante sería muestrear cada año 1/6 del total de parcelas instaladas para obtener la información necesaria para la elaboración del informe de acuerdo con el Art. 17 sobre el estado del 9360.

Resumen de los pasos para evaluar el estado o condición del hábitat 9360:

1) Analizar los valores del índice NDVI para diferenciar el hábitat

9360 del 4050 siguiendo el protocolo preparado (ver Anexo 3) y evaluar si el área de distribución del 9360 aumenta, se mantiene estable o disminuye con el paso del tiempo.

2) Fijar el tamaño de la muestra para una precisión del 5 % (384 parcelas).

3) Delimitar y marcar permanentemente las parcelas de referencia en las ubicaciones previamente acordadas por los expertos, al menos una por isla y subtipo (35 parcelas) y, preferiblemente, dos (70 parcelas) o tres (105 parcelas) réplicas por combinación.

4) Localizar las parcelas que no son referencia, que comprenden tanto espacios Natura 2000 protegidos como (sólo en Azores) no protegidos. Una estrategia adecuada sería un **muestreo sistemático** (como el IFN, en los cruces de coordenadas) dentro de cada isla y subtipo.

5) Establecer las dimensiones de las parcelas (cuadrados de 50 o 40 m de lado) y marcarlas para crear parcelas permanentes (por ejemplo, colocando barras de hierro en sus esquinas), ya que se inspeccionarán indefinidamente.

6) Medir las variables de estructura y función acordadas en las parcelas de referencia y no referencia.

7) Comparar las variables medidas en las parcelas de no referencia con las de referencia, siguiendo el protocolo establecido, para tomar una decisión sobre el estado o condición de cada parcela.

8) Aplicar la condición calculada para cada parcela a diferentes escalas geográficas, utilizando una métrica adecuada: i) un subtipo dado en una isla

dada; ii) una isla dada (abarcando todos los subtipos presentes); iii) un subtipo dado (abarcando todas las islas donde esté presente); iv) un archipiélago dado (abarcando todas las islas); v) el THIC 9360 en toda la Región Biogeográfica (Macaronesia) (abarcando todos los archipiélagos). **Importante:** En este procedimiento **no se incluirán** las parcelas de referencia, porque se han localizado subjetivamente.

3.2.3 Análisis de tendencias

Podría realizarse un análisis de la variación de la superficie del hábitat 9360 a lo largo del tiempo basándose en la información disponible: es decir, si la superficie se ha reducido, mantenido o aumentado en un periodo determinado (por

ejemplo, desde que se aprobó la Directiva (1992) o de periodos anteriores en la medida de lo posible). Para la estructura y la función sólo disponemos de las evaluaciones realizadas en virtud del Art. 17 (Tabla II).

Según los informes del Art. 17 facilitados por Portugal y España, la evaluación de la estructura y la función del hábitat 9360 parece haber mejorado entre el primer y el tercer periodo. La evaluación global ha pasado de desfavorable mala en 2001-2006 a favorable en 2013-2018 (Tabla II).

Current selection: 2001-2006, Forests, 9360 Macaronesian laurel forests (Laurus, Ocotea), All bioregions. [Show all Forests](#)

ETC/BD treated member states' data

MS	Reg	Range (km ²)				Area				Struct & func.	Future prosp.	Overall assess.	Areas from gridded maps (km ²)				Quality	
		Surface	% MS	Trend	Ref.	Surface	% MS	Trend	Ref.				Range	% MS	Distrib.	% MS	Range	Area
ES	MAC	848.75	50.3	-	N/A	233.52	42.7	-	N/A	U1	N/A	U2	N/A	N/A	3100	51.7	G (2004)	G (2004)
PT	MAC	842.20	48.8	-	>842.20	216.58	39.3	-	>316.50	U1	N/A	U2	3100	100	2900	48.3	M (2003-2004)	M (2003-2004)

Current selection: 2007-2012, Forests, 9360 Macaronesian laurel forests (Laurus, Ocotea), All bioregions. [Show all Forests](#)

Treated data from Member States reports

MS	Reg	Range (km ²)				Area				Struct & func.	Future prosp.	Overall assess.				Areas from gridded maps (km ²)			
		Surface	% MS	Trend	Ref.	Surface	% MS	Trend	Ref.			Cur. CS	Qualifier	Prev. CS	Nat. of ch.	Range	% MS	Distrib.	% MS
ES	MAC	118.55	2.7	0	<118.55	112.94	20	0	<112.94	XX	N/A	IV	U2	U1	4000	48.3	1100	48.5	
PT	MAC	4300	87.9	0	<4300	413	80	0	<413	PV	N/A	U1	U2	U1	4300	51.8	3400	51.5	

Current selection: 2013-2018, Forests, 9360 Macaronesian laurel forests (Laurus, Ocotea), Macaronesia. [Show all Forests](#)

Member States reports

MS	Range (km ²)				Area (km ²)								Structure and functions (km ²)				Future prospects				Overall assessment						
	Surface	Status (N MS)	Trend	Ref.	Min	Max	Grid value	Type of	Method	Status (N MS)	Trend	Ref.	Good	Not good	Ref. Mean	Status	Trend	Range good	Area good	2017 good	Status	Cur. CS	Cur. CS trend	Prev. CS	Prev. CS trend	Status Nat. of ch.	CS trend Nat. of ch.
ES	118.55	11.00	-	-	81.8	16.6	102.94	continuous	X	11.00	-	-	81.83	16.61	102.94	71.0	1.02	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
PT	4300	88.00	-	-	428	100	428	continuous	X	88.00	-	-	428	100	428	148	1.02	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00

Tabla II: Fuente: EEA, EIONET Portal. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-be/activities/reporting/article-17>

3.3 Perspectivas futuras: análisis de presiones y amenazas

3.3.1 Identificación y evaluación de las presiones y amenazas actuales (en virtud del Rrt. 17 Elaboración de informes)

Las presiones y amenazas comunicadas para el HTCI 9360 en los últimos informes del Artículo 17 realizados por Portugal (Azores y Madeira) (Tabla 12) y España (Islas Canarias) fueron las siguientes:

7. Main pressures and threats	
7.1 Characterisation of pressures/threats	
a) Pressure	b) Ranking
A09-Intensive grazing or overgrazing by livestock	H-High importance/impact
A01 - Conversion into agricultural land (excluding drainage and burning)	H-High importance/impact
I02-Other invasive alien species (other than species of Union concern)	H-High importance/impact
A03-Conversion from mixed farming and agroforestry systems to specialised (e.g. single crop) production	H-High importance/impact
A05-Removal of small landscape features for agricultural land parcel consolidation (hedges, stone walls, rushes, open ditches, springs, solitary trees, etc.)	H-High importance/impact
A33-Modification of hydrological flow or physical alteration of water bodies for agriculture (excluding development and operation of dams)	M-Medium importance/impact
K04 - Modification of hydrological flow	M-Medium importance/impact
F07-Sports, tourism and leisure activities	M-Medium importance/impact
F01 - Conversion from other land uses to housing, settlement or recreational areas (excluding drainage and modification of coastline, estuary and coastal conditions)	M-Medium importance/impact
E01 - Roads, paths, railroads and related infrastructure (e.g. bridges, viaducts, tunnels)	M-Medium importance/impact
a) Threat	a) Ranking
A09 - Intensive grazing or overgrazing by livestock	H-High importance/impact
A01-Conversion into agricultural land (excluding drainage and burning)	H-High importance/impact
I02-Other invasive alien species (other than species of Union concern)	H-High importance/impact
A03-Conversion from mixed farming and agroforestry systems to specialised (e.g. single crop) production	H-High importance/impact
A05 - Removal of small landscape features for agricultural land parcel consolidation (hedges, stone walls, rushes, open ditches, springs, solitary trees, etc.)	H-High importance/impact
NO2-Droughts and decreases in precipitation due to climate change	M-Medium importance/impact
K04 - Modification of hydrological flow	M-Medium importance/impact
F07 - Sports, tourism and leisure activities	M-Medium importance/impact

Tabla 12: Principales presiones y amenazas reconocidas sobre el 9360 en Portugal. Fuente: Informe del Artículo 17 (2013-2018).

Por el contrario, España acaba de informar en el mismo periodo sobre:

Presión: H04. Vandalismo o incendio provocado: Impacto de importancia media, y

Amenaza: N01. Aumento de la temperatura debido al cambio climático: Impacto de importancia media

Lista preliminar de las principales presiones identificadas en este plan de acción:

Debido a razones muy diferentes, las principales presiones ejercidas por la actividad humana sobre el THIC 9360 no coinciden en los distintos archipiélagos. La situación en Canarias

y Madeira, ambas con una economía basada en el turismo, es muy similar; y sus presiones también, quizás con la excepción de una mayor presión de especies exóticas invasoras en Madeira. En las Azores, las principales presiones derivan de su modelo de desarrollo económico, centrado en el primer sector económico (agricultura, ganadería y silvicultura). Por otro lado, la amenaza del cambio climático es omnipresente en toda la región biogeográfica. La Tabla 13 y la Figura 9 resumen las principales presiones y amenazas reconocidas que actúan sobre el 9360 en los distintos archipiélagos.

Presiones/Amenazas	Azores	Madeira	Canarias
Cambio climático (cambios de temperatura y precipitaciones)	+	+++	+++
Cambio climático (redistribución altitudinal/ disipación del mar de nubes)	-	+	++
Cambio climático (incidencia de las tormentas tropicales)	+	+	+
Aumento de los incendios forestales (debido al cambio climático o a la presión antropogénica)	-	+	+
Especies exóticas invasoras	+++ (<i>Pittosporum undulatum</i> , <i>Hedychium gardnerianum</i> , <i>Clethra arborea</i>)	++ (<i>Ailanthus</i> , <i>Cytisus</i> , <i>Ulex</i> , <i>Acacia</i> , <i>Eucalipto</i> , <i>Passiflora</i> , <i>Pittosporum</i> , <i>Hortensia</i>)	+
Reconversión de los 9360 existentes fuera de la red Natura 2000 en plantaciones o pastizales	+ / ++	-	-
Fragmentación y baja conectividad	+		
Pastoreo ilegal y herbivoría	+ / ++		
Infraestructuras viarias	+	+	+
Canalización de arroyos	-	-	+
Explotación insostenible de la capa freática	-	-	+
Senderos /Bicicletas de montaña	-	-	+
Actividad volcánica	+	-	+

Tabla 13: Lista preliminar de amenazas y presiones que actúan en los distintos archipiélagos sobre el 9360 reconocida por los autores de este Plan de Acción. **Nota:** El número de cruces es proporcional a la importancia de las presiones y/o amenazas.

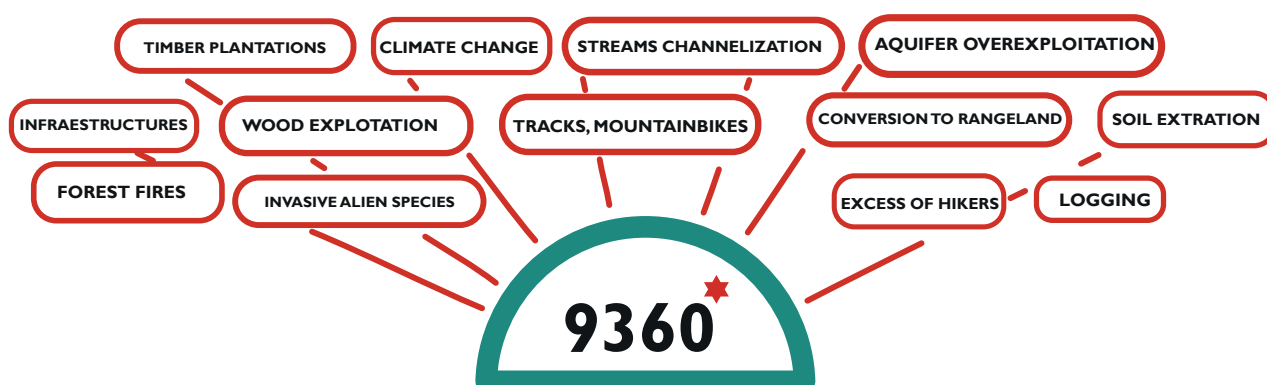


Figura 9: Principales presiones y amenazas ejercidas por la actividad humana sobre la laurisilva macaronésica.

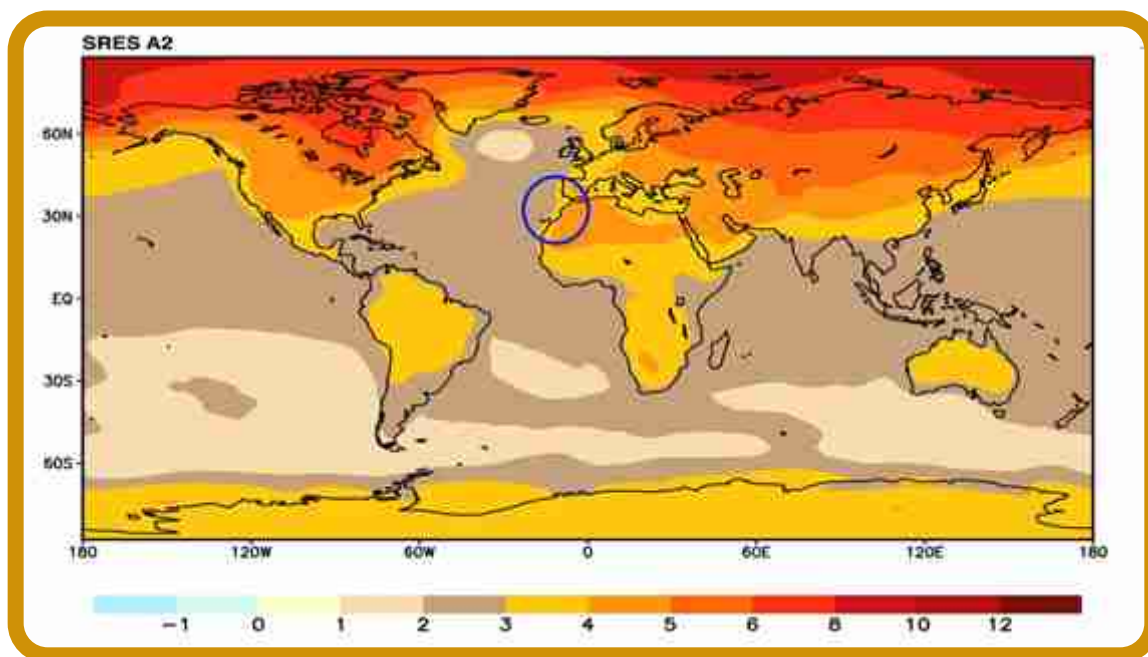
3.3.2 Principales causas de las presiones y amenazas identificadas

Los factores que afectan a las presiones y amenazas ejercidas sobre el tipo de hábitat 9360 en los diferentes archipiélagos de la Macaronesia pueden dividirse en dos grupos: i) los que tienen un origen extrínseco, siendo por tanto los mismos para los diferentes archipiélagos; y ii) los que tienen un origen intrínseco, y dependerán del modelo de desarrollo económico de cada archipiélago, siendo estos últimos necesariamente distintos.

El principal factor común a todos los archipiélagos, pero del que esperábamos resultados diferentes según la ubicación archipelágica y la vulnerabilidad, es el cambio climático. Las proyecciones de cambio climático determinan un aumento de las temperaturas

entre 2-4 °C para finales de este siglo para toda la Región Macaronésica (Fig. 10a), pero la respuesta de las precipitaciones varía según los archipiélagos (Fig. 10b), con valores similares o ligeros incrementos (5 mm/a) de las precipitaciones previstos para las Azores. Madeira y las Canarias podrían registrar una disminución de las precipitaciones de hasta 20 mm/a.

La temperatura es cuantitativamente mucho más importante que la precipitación y, entre otras consecuencias, cabe esperar un desplazamiento altitudinal del hábitat, lo que puede suponer un grave problema en las islas donde este ya ocupa las cumbres (Ferreira *et al.*, 2016, 2019; Renner *et al.*, 2022).



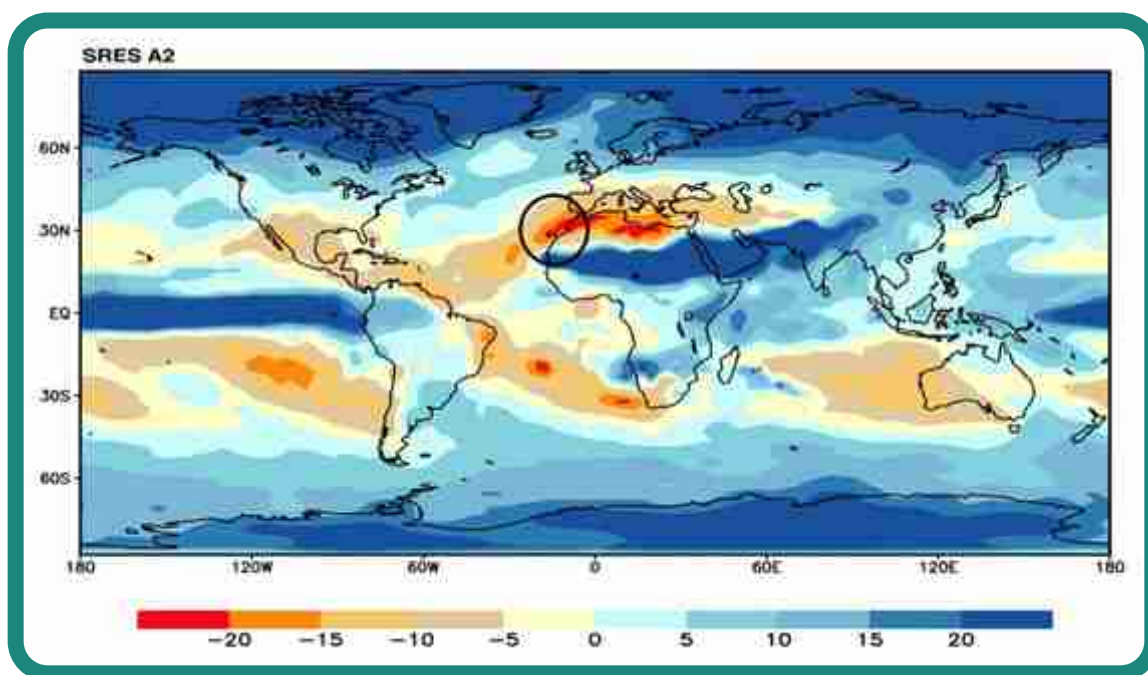


Figura 14: Cambio de a) Temperatura media anual (°C) y b) Precipitación anual (mm) proyectados para el escenario A2 del SRES para finales de este siglo para el planeta y Macaronesia (rodeada). La figura muestra el periodo 2071-2100 en relación con el periodo 1961-1990. Fuente: Gitay *et al.*, 2002.

Otra preocupación relacionada con el cambio climático es cómo afectará a las capas de nubes orográficas, de gran importancia para el 9360. Las capas de nubes orográficas crean refugios húmedos donde los ecosistemas boscosos pueden resistir la aridez anual o estacional del macroclima. También se espera que la ubicación altitudinal, la frecuencia y la profundidad de la capa de nubes se vean afectadas por el cambio climático, aunque las proyecciones de la capa de nubes siguen siendo inciertas, ya que algunos postulan su ascenso altitudinal (Still *et al.*, 1999) y otros su descenso (Sperling *et al.*, 2004). El aumento de la elevación puede plantear graves riesgos en las islas que sólo tienen la capa de nubes alrededor de sus cumbres, porque pueden perderla. Por otro lado, el descenso de la base de la capa de nubes significa que ocupará zonas en gran parte ya transformadas para la agricultura o los asentamientos, lo que impedirá la reubicación de las comunidades a las que la capa de nubes sirve de refugio climático.

Asimismo, la creciente incidencia de huracanes y tormentas tropicales en los archipiélagos macaronésicos, que tradicionalmente se han situado

fuera de la ruta de los huracanes, es una importante consecuencia del cambio climático, que ya empezó a dejar señales sobre la estructura y dinámica del hábitat 9360 con eventos como Delta (2005) en Madeira y Canarias, Vince (2005) en Madeira o Lorenzo (2019) afectando a Azores. Estos vientos crean claros en la bóveda forestal de un tamaño desconocido hasta ahora, que pueden alterar la dinámica de recuperación natural del 9360 (Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

El segundo grupo de factores son intrínsecos a los archipiélagos, es decir, dependientes de su modelo de desarrollo económico, que en Azores se centra principalmente en el pastoreo y la silvicultura, y en Madeira y Canarias en el turismo de masas. Por un lado, las presiones y amenazas sobre las Azores deben relacionarse con el cambio de uso del suelo (es decir, plantación y explotación maderera, conversión en pastizales, etc.). Por otro lado, en Madeira y Canarias las presiones y amenazas sobre el 9360 deberían estar más relacionadas con la densidad humana (sobreexplotación de acuíferos) o los visitantes de espacios naturales (exceso de excursionistas, senderos, bicicletas de montaña,

infraestructuras viarias, ruido, incendios antropogénicos), pero también con la agricultura (sobreexplotación de acuíferos, canalización de arroyos).

3.3.3 Propuesta de armonización de la evaluación de las presiones y amenazas

Es necesario establecer una metodología, lo más objetiva posible, para evaluar las presiones y amenazas que afectan o afectarán a la conservación del hábitat. Deben desarrollarse procedimientos estándar para evaluar el impacto de cada presión/amenaaza sobre la superficie, la estructura y la función de los tipos de hábitat. Recientemente se ha desarrollado un marco conceptual para la evaluación de presiones y amenazas sobre los bosques en el marco del sistema de seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat en España (Chacón-Labela *et al.*, 2019 ¹).

La caracterización de cada una de las presiones y amenazas permitirá establecer un procedimiento para evaluar el parámetro «Perspectivas futuras» para el tipo de hábitat a escala de la región biogeográfica. En este sentido, es necesario formalizar procedimientos para estimar la intensidad de cada presión y amenaza a corto o medio plazo (Cardoso *et al.*, 2013), y para cada uno de los tres parámetros que componen el estado de conservación del tipo de hábitat:

- Rango de distribución geográfica
- Superficie ocupada
- Estructura y función

La evaluación de cada uno de estos parámetros permitirá, mediante su combinación con una matriz de decisión adecuada, caracterizar las «Perspectivas futuras» del hábitat como favorables, desfavorables-inadecuadas, desfavorables-malas o desconocidas. De este modo, un tipo de hábitat de una región biogeográfica tendrá buenas perspectivas futuras si, en un futuro previsible (12 años), el rango de distribución

geográfica y la superficie ocupada por el tipo de hábitat permanecen estables o se amplían y si la estructura y función se mantienen favorables.

Como primer paso, usando la lista de referencia disponible para la notificación de presiones y amenazas para los tipos de hábitats con arreglo a la Directiva Hábitats, se identificarán y describirán brevemente para cada uno de los tres parámetros aquellas presiones y amenazas relevantes que puedan causar un cambio en el estado de conservación a nivel biogeográfico regional: «rango de distribución», «superficie ocupada» y «estructura y función».

El análisis de la intensidad y el impacto de las presiones y amenazas sobre la superficie y el estado (estructura y función) del hábitat podría abordar las siguientes etapas principales:

- 1) Recopilación de fuentes de información y bases de datos: capas SIG, inventarios de presiones y amenazas disponibles, modelos estadísticos, escalas adecuadas, frecuencia, extensión, etc.
- 2) Establecimiento del solapamiento de las presiones y amenazas con la distribución del hábitat.
- 3) Evaluación de la sensibilidad del tipo de hábitat a cada presión y definición de umbrales críticos que determinen las categorías A (alta), M (media) y B (baja), por ejemplo, teniendo en cuenta la normativa, la bibliografía, etc.

¹ https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/bosquesymatorrales-nofluviales_8_metodospresionesyamenazas_tcm30-508583.pdf

CUADRO I: Ejemplo práctico del análisis de una presión Impacto del cambio climático en la laurisilva de Tenerife (Martín Esquivel (2022) inédito)

El Gobierno de Canarias ha realizado recientemente un análisis inédito para evaluar el efecto del cambio climático en los hábitats 4060 (brezales macaronésicos endémicos) y 9360 de Tenerife. El objetivo del trabajo era evaluar cómo el actual cambio climático antropogénico ha afectado ya al área de distribución de 4060-9360 en la isla y, de este modo, obtener información sobre cómo se verá afectada en el futuro.

Metodología: Los autores recopilaron la información meteorológica existente para las principales áreas de distribución 4050-9360 en la isla (Anaga, La Orotava, Teno y Güímar) (Fig. 1 del cuadro) para los periodos 1970-1999 y 1993-2022 y realizaron una comparación. Conociendo los requerimientos climáticos del 9360 en Tenerife y utilizando los datos brutos para modelizar la temperatura (T) y la precipitación (P) de las zonas de distribución de ambos hábitats, pudieron construir un espacio climático (T frente a P) (Fig. 2 del cuadro) donde se representó la distribución climática durante estos marcos temporales.

Espacios climáticos del Monteverde de Tenerife

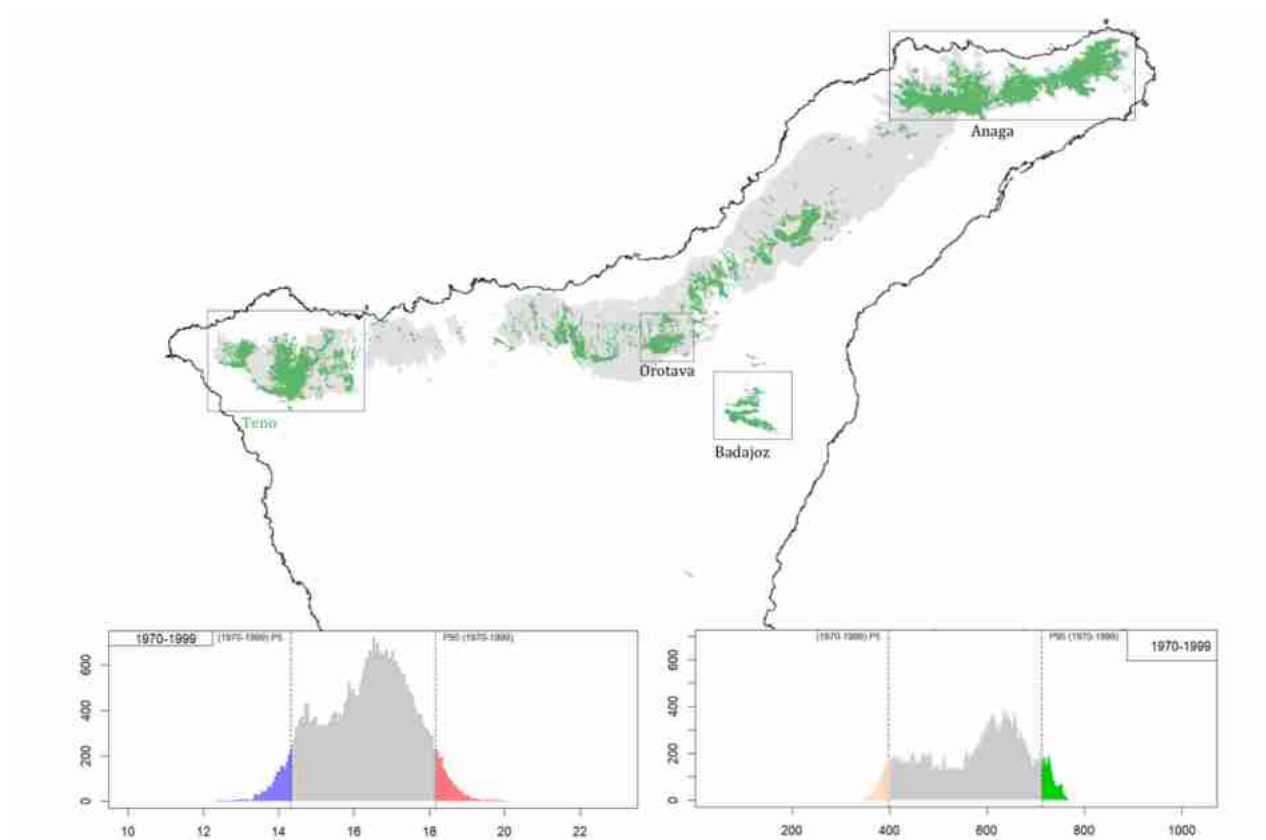


Figura 1: Arriba, distribución geográfica prístina (gris) y actual (verde) de los THIC 4060 y 9360 en Tenerife. Abajo, distribuciones de la temperatura media anual (izquierda) y de la precipitación anual (derecha) en los periodos (1970-1999, blanco) y (1993-2022, gris). En azul (percentil 5) y en rojo (percentil 95) superposición de ambas curvas para la temperatura y en naranja (percentil 5) superposición de la precipitación. No existe solapamiento para el percentil 95 de los valores de precipitación.

Espacios climáticos del Monteverde de Tenerife

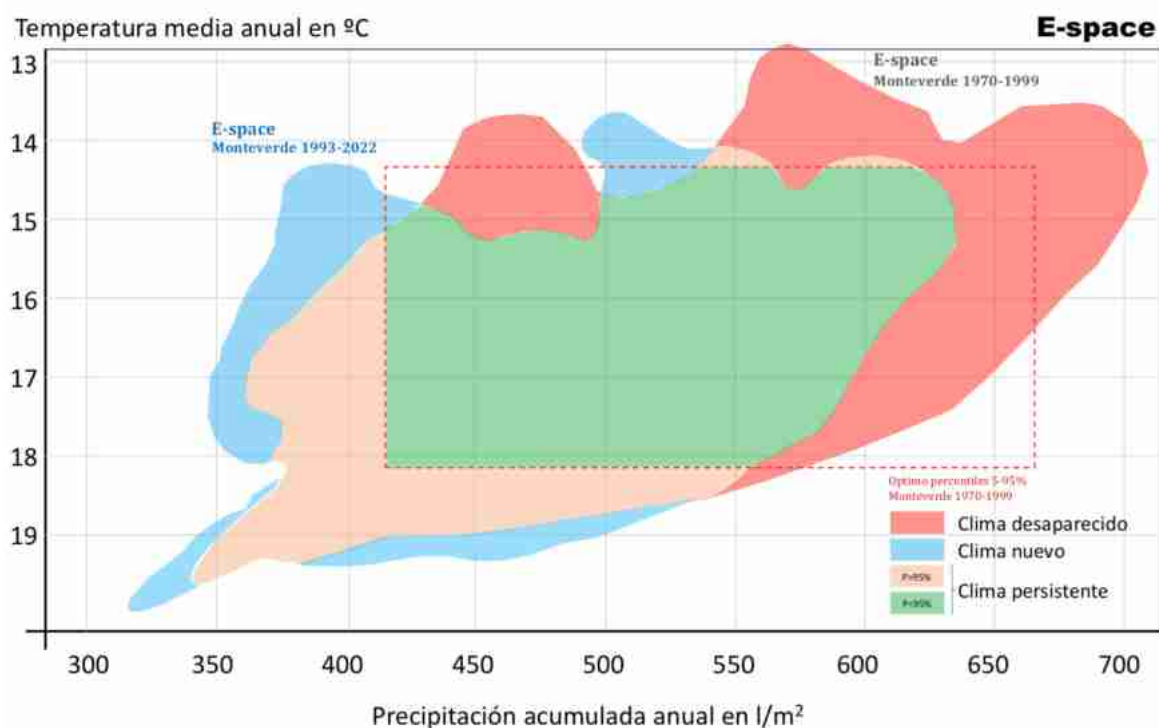


Figura 2: Extensión ocupada por 4060 y 9360 en el espacio climático Temperatura-Precipitación. En rojo, el espacio climático 1970-1999 ya ha desaparecido, y en azul, el nuevo espacio climático surgido entre 1993-2020. Las zonas verdes ($P < 95\%$) y naranjas ($P > 95\%$) indican la persistencia del espacio climático.

Espacios climáticos del Monteverde de Tenerife

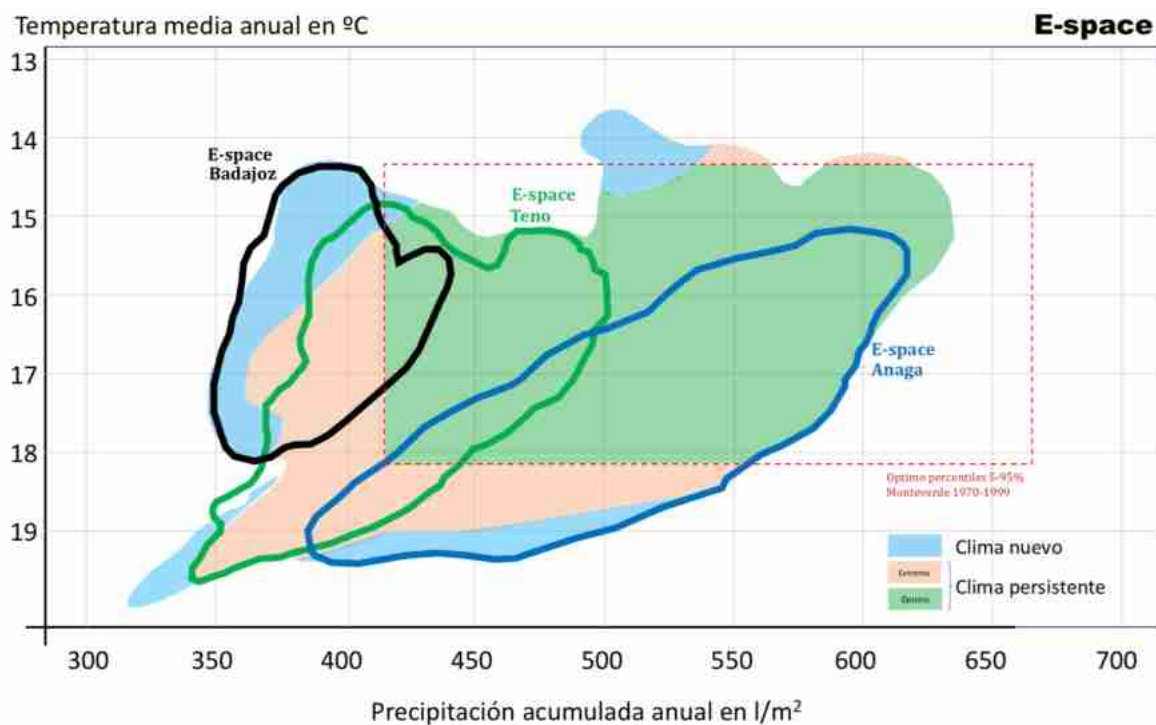


Figura 3: Distribución de los hábitats 4060 y 9360 en determinadas comarcas tinerfeñas (Anaga, Teno y Badajoz (Güímar)), en el espacio climático.

Resultados: El clima dominante desde el periodo 1970-1992 en la distribución geográfica de Tenerife de los THIC 4060 y 9360 se ha desplazado en estos últimos 50 años hacia condiciones más cálidas y secas, de modo que una fracción significativa de su espacio climático ha desaparecido (en rojo en la Fig. 2 del cuadro). A la inversa, ha surgido un nuevo espacio climático (azul claro en la Fig. 2 del cuadro), aunque su área climática es menor que la del desaparecido.

El cambio hacia un clima más cálido y seco en las zonas donde ahora se distribuyen estos hábitats puede dar lugar a una redistribución altitudinal de ambos hábitats hacia la cumbre de la isla, para seguir sus requisitos climáticos originales. No obstante, esta redistribución altitudinal puede verse obstaculizada por la incapacidad del ecosistema de seguir el cambio climático debido a problemas de dispersión o a la inexistencia de terrenos más elevados que colonizar. Es el caso de los macizos de Anaga y Teno, cuyas cumbres ya están ocupadas por estos tipos de vegetación (Fig. 3 del cuadro).

Por otro lado, las áreas de distribución menos elevadas de los hábitats 4060 y 9360 pueden ser sustituidas por la redistribución altitudinal de otros ecosistemas, como los bosques termófilos (como puede ocurrir en Badajoz, Valle de Güímar).

Resumiendo, hay certeza sobre el cambio climático ocurrido en las áreas de distribución del hábitat 9360 hacia condiciones más cálidas y secas durante el último medio siglo, pero hay incertidumbre sobre la capacidad del hábitat 9360 de mantener su envoltura climática, allí donde todavía es posible por la existencia de zonas de mayor altitud para colonizar (como en La Orotava).



Insulivitrina lamarckii, especie endémica de Tenerife. Foto: Nélida Rodríguez

3.4 Conclusiones sobre la evaluación del estado de conservación y las tendencias, lagunas y necesidades futuras

El diagnóstico del hábitat debe basarse en una evaluación rigurosa del estado de conservación, que incluya la superficie, la estructura y la función, así como las perspectivas futuras basadas en el análisis de las presiones y amenazas. Para ello también es necesario armonizar los planteamientos a fin de obtener resultados más precisos y comparables en toda la región macaronésica.

Superficie ocupada:

- Aplicar un protocolo común para evaluar la superficie ocupada por la laurisilva en cada isla, por ejemplo, utilizando una metodología basada en el NDVI como se propone en este plan de acción (ver Anexo 3).
- Mejorar el conocimiento sobre el área de distribución potencial, especialmente en las Azores, para poder estimar el Área Favorable de Referencia del Hábitat, necesaria para abordar posibles esfuerzos de restauración.

Estructura y función (estado del hábitat)

- Desarrollar y aplicar un procedimiento estándar para la evaluación y el seguimiento del

estado del hábitat del 9360 (estructura y función) en la región macaronésica. Para ello será necesario llegar a un acuerdo sobre el uso de un conjunto común de variables y la elaboración de umbrales, métodos de agregación, protocolos de seguimiento y muestreo para su aplicación en todo el nivel biogeográfico.

- Explorar el uso de la información de los inventarios forestales para la evaluación y el seguimiento del estado del hábitat.
- Explorar el posible uso de otras fuentes de información y tecnologías para medir el estado del hábitat (teniendo en cuenta las variables necesarias), por ejemplo, mediante teledetección, LIDAR aéreo, LIDAR terrestre, etc.

Perspectivas futuras: análisis de las presiones

- Desarrollar procedimientos estándar para cuantificar la intensidad (alta, media, baja) de las presiones y amenazas sobre la superficie y la estructura y función del hábitat.



Fringilla coelebs moreletii, Isla Terceira (Azores). Foto: Eduardo Dias

4. OBJETIVOS Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

4.1 Objetivos de restauración y conservación

4.1.1 Recuperación del área favorable de referencia para 2050

Este Plan de Acción aboga por la recuperación del Área Favorable de Referencia, es decir, aumentar la superficie hasta **alcanzar el 25% de la superficie potencial del hábitat 9360 para 2050**, y en la medida de lo posible, aplicar este objetivo a cada subtipo de hábitat. Por ahora, sólo Madeira y La Gomera (y no para todos los subtipos 9360) alcanzan globalmente este objetivo (25%), mientras que otras islas, como Tenerife, La Palma o El Hierro, alcanzan el umbral para algunos subtipos, pero no globalmente (ver tabla 3). En las islas donde el THIC 9360 no está bien conservado (Gran Canaria, y muchas islas de Azores), la consecución de este objetivo requerirá importantes esfuerzos de restauración de las masas originales de laurisilva.

Justificación

Este objetivo se basa en la determinación del Área Favorable de Referencia explicada en el apartado anterior. Si consideramos la destacada endemidad de la Macaronesia y el hecho de que este tipo de hábitat es endémico de esta región biogeográfica, el objetivo de restaurar el hábitat hasta alcanzar el 25% de su área de distribución potencial parece apropiado. Esto implicaría (dependiendo de los grupos taxonómicos) que sobreviviría al menos una fracción que oscilaría entre el 50-70% aproximadamente de la biota original del 9360. Esto es especialmente trascendente si tenemos en cuenta que la gran mayoría de las especies endémicas que viven en islas oceánicas son endémicas moninsulares (SIE) (Fernández-Palacios *et al.*, 2021), y que la gran mayoría de ellas son también endémicas de un solo hábitat (SHE), lo que significa que su pérdida en su isla y hábitat habitados implicará la extinción de la especie. Este objetivo puede ser especialmente difícil de alcanzar en algunas regiones, como las Azores, o en Gran Canaria, que actualmente albergan menos de un 3% de la distribución potencial de laurisilva.

Medidas necesarias para alcanzar este objetivo

- Determinar el área de distribución potencial de laurisilva en todas las islas macaronésicas para **definir y cuantificar el Área Favorable de Referencia**.

- Identificar posibles zonas de restauración en todas las islas, según sea necesario, y **preparar planes de restauración para llevar a cabo las acciones de restauración necesarias**. Estos planes de restauración deberán considerar la viabilidad y los medios necesarios para llevar a cabo las acciones de restauración.

- La aplicación de las medidas de restauración debe planificarse de manera cuidadosa. Por ejemplo, algunas zonas potenciales de restauración pueden estar en terrenos privados y **la ejecución de las acciones de restauración** requerirá la **compra de terrenos o el establecimiento de acuerdos de custodia con los propietarios**. Los acuerdos con las autoridades locales también pueden servir para llevar a cabo algunas acciones de restauración en terrenos públicos. Se estimarán con el mayor detalle posible los costes y recursos financieros para llevar a cabo las acciones previstas y se incluirán los permisos y acuerdos necesarios.

4.1.2 Mantener en buen estado al menos el 90% de la superficie del hábitat

Justificación

Según las directrices para la evaluación del estado de conservación, al menos el 90% de la superficie del hábitat debe estar en buen estado para considerar que la estructura y función del hábitat presentan un estado favorable. Para ello es necesario mejorar las condiciones de algunas zonas en las que el hábitat puede estar presente actualmente, pero degradado o no en buenas condiciones.

Medidas necesarias para alcanzar este objetivo

- Identificar las zonas degradadas con potencial de recuperación y evaluar las principales presiones y amenazas que causan su degradación, con el fin de elaborar planes de recuperación basados en esta información, teniendo en cuenta los recursos necesarios para su aplicación.
- Desarrollar acciones de recuperación mediante la eliminación y reducción de las presiones pertinentes y aplicar las medidas de recuperación o restauración necesarias para mejorar el estado de las zonas seleccionadas.

4.1.3 Mejorar la protección y la gestión dentro y fuera de la red Natura 2000

Justificación

Actualmente, el porcentaje de la superficie de hábitats incluida en Natura 2000 es del 78,72% en Portugal y del 93% en España. Aunque en Canarias y Madeira la gran mayoría de la distribución actual del hábitat 9360 está incluida en la red Natura 2000 existente en los archipiélagos (véase la Tabla 5), siendo excepcionales los fragmentos no incluidos, no ocurre lo mismo en el archipiélago de las Azores, donde una parte significativa del 9360 (56,51%) está fuera de la red Natura 2000. Independientemente de su estado de conservación, este Plan de Acción considera que la protección de esos fragmentos del hábitat 9360 aún existentes fuera de la red Natura 2000 (sea cual sea el archipiélago en el que esto ocurra) es urgente y necesaria, ya que su estado actual sin protección oficial europea puede ser extremadamente arriesgado para la supervivencia a largo plazo de esos fragmentos y de las especies que los habitan.

Considerando la singularidad y prioridad de conservación de este tipo de hábitat en las regiones macaronésicas, se propone **incluir el 100% de la superficie del hábitat en Natura 2000.**

La elaboración, actualización y aplicación de los **planes de gestión** de los espacios Natura 2000 que albergan el hábitat 9360 también serán necesarias para garantizar una gestión adecuada de todos estos espacios (Guimaraes & Olmeda, 2008).

Teniendo en cuenta la fragmentación de laurisilva en toda su área de distribución, también es necesario mejorar la coherencia y la conectividad de la red Natura 2000 para el hábitat 9360 a fin de garantizar la conservación y la viabilidad del hábitat a largo plazo (Aparício *et al.*, 2018). Esto podría llevarse a cabo mediante la elaboración de **planes para mejorar la coherencia de la red de laurisilva.**

Por último, con el fin de mejorar la gestión y aplicar de forma coordinada las medidas de conservación necesarias, se considera conveniente establecer mecanismos de coordinación entre las administraciones regionales y locales y las partes interesadas para la gestión y conservación de las zonas de laurisilva.

Medidas necesarias para alcanzar este objetivo

- Para **mejorar la protección de la laurisilva** será necesario identificar todas las zonas actuales con laurisilva fuera de la Red Natura 2000 y designar los LIC correspondientes. La designación de nuevos espacios Natura 2000 incluirá también todas las zonas sometidas a la restauración de la laurisilva.
- Para **mejorar la coherencia y la conectividad de la Red Natura 2000 para la laurisilva**, se propone analizar la coherencia (representatividad, conectividad, resiliencia, rareza y redundancia) de la Red Natura 2000 para este hábitat. Este será un primer paso para elaborar y aplicar planes de mejora de la coherencia a diferentes escalas: lugar, isla, archipiélago y región biogeográfica.
- La mejora de la **coordinación para la gestión y conservación de la laurisilva** requerirá la **creación de un grupo interregional** con representantes de los tres archipiélagos y el apoyo de las autoridades nacionales. Este grupo coordinaría y haría el seguimiento de las actividades de conservación, conocimiento y vigilancia.

4.1.4 Asegurar la adaptación al cambio climático

Justificación

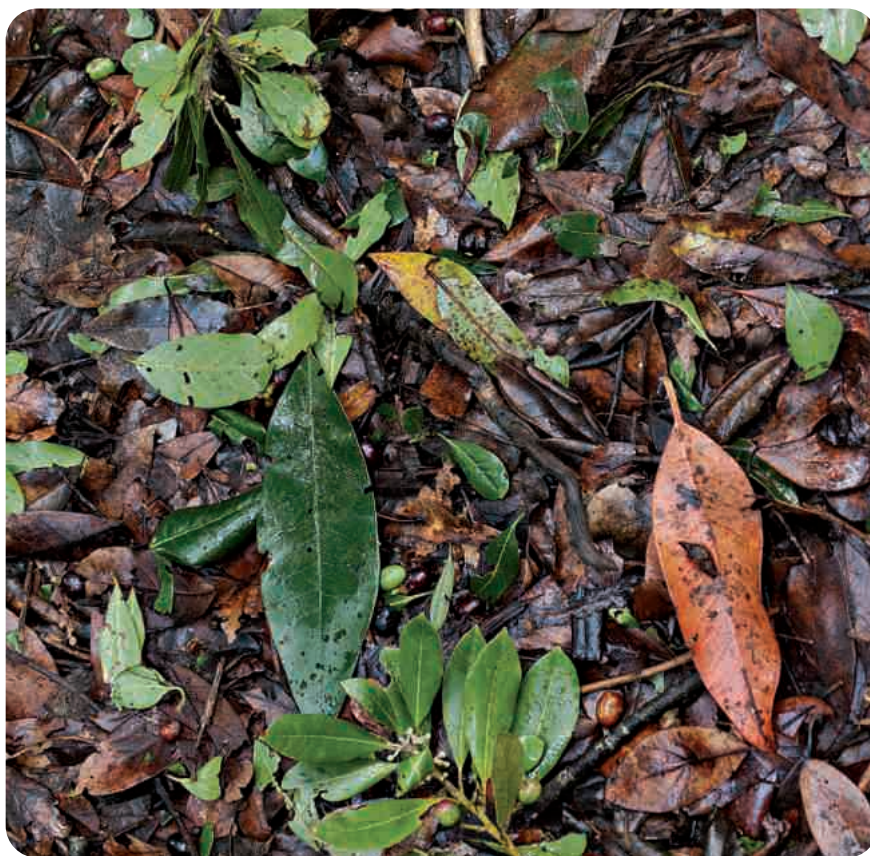
Teniendo en cuenta los futuros escenarios de cambio climático y el impacto que pueden tener sobre la conservación de la laurisilva de la región macaronésica (ver Figura 14), este plan de acción pretende **promover la conservación y restauración** de los bosques de laurisilva en las **zonas favorables previstas en las nuevas condiciones climáticas**.

Medidas necesarias para alcanzar este objetivo

- Para preparar las medidas necesarias para garantizar la adaptación de la laurisilva al cambio climático, se considera necesario **analizar y prever los cambios en la**

superficie de laurisilva en los escenarios de cambio climático, mediante técnicas de modelización, con el fin de **identificar las zonas favorables** para la aparición de la laurisilva en dichos escenarios. Un ejemplo de este tipo de análisis se ha llevado a cabo en las islas de Tenerife y se muestra en este plan de acción (ver cuadro 1 de la sección 3.3.3).

- A partir del análisis predictivo de los cambios en las zonas de laurisilva derivados de las nuevas condiciones climáticas, se elaborará **un plan de adaptación para llevar a cabo las acciones de adaptación, conservación y restauración necesarias en las nuevas zonas favorables** identificadas en el plan. Se estimarán y preverán detalladamente los costes, recursos financieros y medios para llevar a cabo las acciones previstas.



Mantillo laurisilva, Anaga (Tenerife). Foto: Nélida Rodríguez

4.2 Objetivos y medidas para mejorar la información y el seguimiento

Uno de los primeros obstáculos a los que se enfrentan los gestores y profesionales para desarrollar acciones de conservación adecuadas es la falta de conocimiento. Las últimas décadas han contribuido a la acumulación de destacados conocimientos sobre el THIC 9360 (Santos-Guerra, 1990; Gandullo, 1991; Costa Neves *et al.*, 1996, 1997; Ohsawa *et al.* 1999; Fernández López & Moreno, 2004; Sande Silva, 2004; Meneses *et al.*, 2006; Fernández López and Gómez González, 2016; Arozena *et al.*, 2017; Fernández-Palacios *et al.*, 2017) y más de un centenar de trabajos publicados en revistas científicas (véase Fernández-Palacios *et al.*, 2017 y sus referencias). A pesar de estos avances, sigue habiendo una importante laguna de conocimiento sobre este tipo de hábitat en lo que respecta a varias cuestiones, principalmente relacionadas con el estado de conservación, las presiones y amenazas. En este plan de acción se proponen los siguientes objetivos y medidas para abordar estas carencias.

4.2.1 Mejorar la información sobre la diversidad y los requisitos ecológicos de la laurisilva

Justificación

Los bosques de laurisilva muestran una extraordinaria diversidad a lo largo de su distribución, con un número significativo de subtipos identificados en las diferentes islas de su área de distribución. Es necesario mejorar los conocimientos sobre los distintos tipos de laurisilva, su distribución y sus requerimientos ecológicos para abordar de manera adecuada su conservación. También es necesario conocer mejor los procesos ecológicos clave para mantener la laurisilva en buen estado.

Medidas necesarias para mejorar el conocimiento de la diversidad y las necesidades ecológicas

- El **análisis de la diversidad ecológica** de la laurisilva en toda su área de distribución

implicaría definir los criterios para **identificar los distintos subtipos**, así como elaborar una **descripción completa y mapas precisos** de los subtipos identificados.

- El **estudio y análisis de las características clave, los requerimientos ecológicos y los procesos** para mantener la laurisilva en un estado de conservación favorable, considerando todos los subtipos identificados, es una medida necesaria para identificar y abordar de manera adecuada las necesidades de conservación de este tipo de hábitat en toda su área de distribución.

4.2.2 Mejorar la evaluación y el seguimiento del estado de conservación de la laurisilva, incluyendo la mejora del conocimiento sobre las presiones y sus efectos en la laurisilva

Justificación

El diagnóstico del hábitat realizado en este plan de acción ha revelado que el conocimiento sobre el estado de los parámetros clave de la laurisilva (superficie, estructura y función y perspectivas futuras) es incompleto e inexacto. La falta de metodologías armonizadas para evaluar el estado de conservación en los tres archipiélagos que albergan laurisilva impide obtener resultados comparables en toda la región macaronésica.

Recopilar conocimientos detallados sobre las presiones que afectan a la laurisilva en sus áreas de distribución y las amenazas previsibles en el futuro resulta esencial para poder identificar las zonas en las que es necesario actuar para hacer frente a las presiones y amenazas que ponen en peligro la conservación del hábitat.

Medidas necesarias para alcanzar el objetivo

- **Desarrollar y aplicar métodos y protocolos armonizados y estándar para evaluar el estado de conservación** de la laurisilva con el fin de evaluar de manera adecuada todos los parámetros: superficie, estructura y función, y perspectivas futuras basándose en el análisis de las presiones y amenazas.

- Debería elaborarse un **protocolo común para evaluar la superficie ocupada por la laurisilva** y aplicarse en todas las islas y archipiélagos de la Macaronesia. Esto podría hacerse, por ejemplo, utilizando una metodología basada en el NDVI, como se propone en este plan de acción (ver Anexo 3).

- También es necesario **cuantificar el Área Favorable de Referencia** del hábitat. Para ello es necesario mejorar los conocimientos sobre el área de distribución potencial, especialmente en las Azores.

- También es necesario **desarrollar y aplicar un procedimiento estándar común para la evaluación y el seguimiento del estado del hábitat de laurisilva** (estructura y función) en la región macaronésica. Para ello será necesario

llegar a un acuerdo sobre el uso de un conjunto común de variables y la elaboración de umbrales, métodos de agregación, protocolos de seguimiento y muestreo para su aplicación en toda la región macaronésica.

- Se propone también explorar el **uso de información procedente de inventarios forestales** y otras fuentes de información y tecnologías (por ejemplo, teledetección, LIDAR, etc.) para la evaluación y el seguimiento del estado del hábitat.

- **Estudiar, analizar en detalle y cartografiar las presiones y amenazas** que afectan a la laurisilva en toda su área de distribución mediante la **elaboración de procedimientos estandarizados para cuantificar la intensidad y el impacto** (alto, medio, bajo) de las presiones y amenazas sobre la superficie, estructura y función del hábitat (ver también el apartado 3.3.4).

- **Crear un grupo de trabajo conjunto para desarrollar las metodologías estándar** que se consideren necesarias para mejorar la evaluación y el seguimiento del estado de conservación del hábitat.



Mar de nubes rebotando sobre Encumeada en Madeira. Foto: Nélida Rodríguez

4.3 Objetivos y medidas de difusión y concienciación

4.3.1 Aumentar la concienciación sobre la importancia de la conservación de la laurisilva

Justificación

La difusión de información sobre la originalidad de la laurisilva y su importancia para la conservación de la biodiversidad en la región macaronésica se considera necesaria para sensibilizar sobre su valor a la población, las administraciones locales y las partes interesadas, que pueden apoyar la conservación de este hábitat forestal único.

Medidas necesarias para alcanzar el objetivo

- Es necesario **elaborar y difundir materiales de información y concienciación** sobre la importancia de la laurisilva para apoyar su conservación. Estos materiales deben diseñarse y dirigirse a la población local y a los visitantes, a las administraciones locales y a las partes interesadas que puedan contribuir a la aplicación de las medidas de conservación necesarias
- La difusión de información sobre el estado actual y las necesidades de conservación de la laurisilva es esencial para **promover y apoyar la aplicación del plan de acción** por parte de las Administraciones regionales y locales, las partes interesadas y las ONG.



Viburnum rigidum, Anaga (Tenerife). Foto: Nélida Rodríguez

5. RECURSOS Y HERRAMIENTAS PARA LA IMPLANTACIÓN

5.1 Coste de las medidas y fuentes de financiación

Los costes de las medidas propuestas en el presente plan de acción no han podido estimarse durante su elaboración, pero deberán calcularse antes de su aplicación. Se proponen una serie de estudios y análisis para mejorar los conocimientos, así como para orientar y apoyar la aplicación de las medidas necesarias, que pueden presupuestarse teniendo en cuenta estudios similares realizados en otros hábitats y contextos. Será necesaria una cuantificación precisa de las necesidades en términos de restauración y medidas de conservación para estimar los costes, que también pueden basarse en los costes unitarios de otras experiencias y proyectos similares. El presupuesto final dependerá también de la ambición en la aplicación de las acciones previstas durante la ejecución del plan de acción.

En cuanto a las posibles fuentes de financiación, en general, los principales fondos que pueden utilizarse para la restauración, la gestión de la conservación y el seguimiento del hábitat y para sensibilizar a la población son los fondos de la Política Agrícola Común (PAC) y otros fondos europeos como LIFE y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, así como fondos nacionales.

La PAC proporciona ayuda financiera a las zonas rurales y los países de la UE pueden optar por financiar intervenciones forestales a través de sus Planes Estratégicos de la PAC. Estas intervenciones tienen por objeto proteger los bosques, hacerlos más resistentes al cambio climático y salvaguardar sus múltiples funciones, incluida la prestación de servicios medioambientales. Estas intervenciones pueden apoyar tanto inversiones como acciones específicas de gestión forestal como las siguientes:

- forestación o creación de bosques, tanto su establecimiento como inversión como su mantenimiento;

- prevención de daños forestales causados por incendios, desastres naturales o sucesos catastróficos, y restauración de los bosques dañados;
- inversiones para mejorar la resiliencia climática y el valor medioambiental de los ecosistemas forestales;
- contratos de gestión de tierras para servicios forestales-medioambientales-climáticos y conservación de bosques.

El programa LIFE presta apoyo a enfoques integrados y proyectos piloto, de demostración y de mejores prácticas que contribuyan a la aplicación de los objetivos de biodiversidad, las estrategias de mitigación del cambio climático y los planes de acción a escala regional o nacional. Esto incluye proyectos que combinan la restauración y promoción de los servicios ecosistémicos con el establecimiento de herramientas de financiación innovadoras. El programa LIFE también puede financiar la compra de terrenos en condiciones estrictas, por ejemplo, cuando sea necesario para llevar a cabo acciones prioritarias de restauración.

La Comisión Europea ha publicado una [Guía](#) para ayudar a las entidades públicas y privadas, y a los propietarios y gestores forestales, a elaborar y aplicar sistemas de pago por los servicios de los ecosistemas forestales.



5.2 Herramientas de aplicación y medidas de apoyo

Entre los posibles procedimientos para permitir y apoyar la aplicación del plan de acción se pueden incluir medidas legales y administrativas, incentivos, comunicación, participación de las partes interesadas, etc.

Serán necesarias medidas jurídicas y administrativas para mejorar la protección y apoyar la aplicación de los planes de gestión en los espacios Natura 2000.

Los acuerdos con los propietarios privados y con las autoridades públicas pueden ser útiles para la adopción de medidas de restauración y conservación en algunas zonas de laurisilva.

En algunas regiones españolas, como Cataluña, la administración pública y las fundaciones ecologistas han financiado la creación de reservas forestales privadas y acuerdos de custodia para conservar bosques maduros y ecosistemas valiosos.



6. SEGUIMIENTO Y REVISIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

Antes de poner en marcha el plan de acción debe diseñarse un plan de seguimiento para evaluar la aplicación y la eficacia de las acciones previstas, que incluya indicadores pertinentes y plazos para la evaluación.

Para evaluar la eficacia de las medidas previstas, sería útil llevar a cabo un seguimiento de los resultados en el hábitat con una supervisión científica. Algunos posibles indicadores para evaluar la eficacia de las medidas aplicadas podrían ser los siguientes:

- Área del hábitat en condiciones favorables.
- Aumento de las zonas gestionadas, aumento o mantenimiento del estado favorable en las zonas gestionadas, mejora del estado de las especies típicas, regresión de las especies problemáticas.
- Diversidad de las especies típicas, amenazadas o raras.

- Estructura de la vegetación, especies bioindicadoras (tanto positivas como negativas y de diferentes grupos de organismos, incluida la biota del suelo), especies paraguas.

- Composición faunística. Alta diversidad de especies, especialmente invertebrados bien representados y en buen estado.

En cuanto a la revisión del plan de acción, parece oportuno revisarlo y actualizarlo cada doce años, de forma que se cubran dos ciclos de presentación de informes con arreglo al artículo 17 de la Directiva Hábitats, dada la lentitud con que los hábitats reaccionan a la aplicación de medidas. No obstante, la ejecución de las acciones podría revisarse cada seis años para comprobar las actividades realizadas y los resultados intermedios, detectar posibles carencias, dificultades y limitaciones que habría que resolver, y revisar y ajustar las acciones según proceda.



Picconia azorica, Isla de São Jorge (Azores). Foto: Eduardo Dias

7. GOBERNANZA PARA LA APLICACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

Para que el plan de acción sea operativo a escala nacional, a escala de archipiélago e insular, es necesario acordar las responsabilidades de aplicación. Deben identificarse claramente los organismos y personas responsables de la implantación y el seguimiento del plan de acción.

Las autoridades nacionales y regionales deben identificar y designar a los responsables de la ejecución de las acciones. Un organismo específico o un comité directivo podrían encargarse de supervisar la aplicación del plan. Podría preverse un intercambio periódico de información sobre la aplicación de las acciones y una reunión anual para su revisión con el fin de supervisar la ejecución del plan de acción.

Este sistema de gobernanza debe definirse y establecerse al inicio del plan de acción. Podrían contemplarse los siguientes pasos:

- Establecer un sistema de gobernanza para la aplicación del plan de acción: determinar los organismos y personas responsables de la ejecución y el seguimiento del plan de acción. Los EM deberían designar a los responsables de la ejecución de las acciones previstas.
- Definir un proceso de toma de decisiones.
- Establecer los procedimientos y responsabilidades de seguimiento, evaluación y revisión del plan de acción (por ejemplo, intercambio y revisión anual de la ejecución del plan).



8. MARCO DE ACTUACIÓN

En las páginas siguientes se incluye un marco operativo que recoge los objetivos, las acciones, el ámbito geográfico, las responsabilidades y los plazos.

Objetivos de conservación y restauración				
Acciones clave	Actividades, medios y aportaciones necesarios	Ámbito geográfico	Responsabilidades	Calendario
Objetivo 1: recuperar el Área Favorable de Referencia para 2050				
Aumentar la superficie para alcanzar el 25% de la superficie potencial del hábitat 9360	Identificar posibles zonas de restauración y elaborar un plan de restauración	Todas las islas macaronésicas con potencial de recuperación	Administraciones regionales, expertos científicos	2027
	Desarrollar acciones de restauración		Administraciones regionales y locales; partes interesadas y ONGs	2036
Objetivo 2: mantener en buen estado al menos el 90 % de la superficie del hábitat para alcanzar un estado de conservación favorable				
Recuperar zonas en mal estado (degradadas)	Identificar las posibles zonas de recuperación y las principales presiones y amenazas que causan su degradación, y elaborar un plan de recuperación	Todas las islas macaronésicas con potencial de recuperación	Administraciones regionales	2027
	Desarrollar acciones de recuperación: eliminar/reducir presiones y adoptar medidas de recuperación/restauración		Expertos científicos	2036
Objetivo 3: mejorar la protección y la gestión dentro y fuera de la Red Natura 2000				
Incluir el 100% de la superficie del hábitat en Natura 2000 (actualmente el 79% en Portugal y el 93% en España)	Identificar las zonas actuales fuera de la Red Natura 2000 y designar los LIC correspondientes	Todas las islas macaronésicas con superficies de laurisilva fuera de Natura 2000	Administraciones regionales	2027
	Incluir todas las zonas restauradas en la Red Natura 2000	Todas las zonas restauradas	Administraciones regionales	2028
Elaborar, actualizar e implantar planes de gestión de espacios Natura 2000 con laurisilva	Actualizar y adoptar planes de gestión para los espacios Natura 2000 con laurisilva.	Todas las islas macaronésicas	Administraciones regionales	2030
	Aplicar medidas de conservación, incluyendo medidas para reducir/eliminar las principales presiones y amenazas		Administraciones regionales y locales; partes interesadas y ONGs	2036
Elaborar planes para mejorar la coherencia de la red de laurisilva	Analizar la coherencia (representatividad, conectividad, resiliencia, rareza y redundancia) de la Red Natura 2000 para la laurisilva	Red Natura 2000 en la región macaronésica	Administraciones regionales y locales, expertos científicos, partes interesadas y ONGs	2027
	Elaborar y aplicar planes para mejorar la coherencia (multinivel: espacio, isla, región)			2028
Establecer mecanismos de coordinación entre administraciones para la gestión de la laurisilva	Creación de un grupo interregional con representantes de los tres archipiélagos y apoyo de las autoridades nacionales para coordinar las actividades de conservación, conocimiento y seguimiento	Región macaronésica	Administraciones regionales y locales, expertos científicos, partes interesadas y ONGs	2024

Objetivo 4: conseguir la adaptación al cambio climático				
Promover la conservación y restauración de los bosques de laurisilva en zonas favorables, teniendo en cuenta las nuevas condiciones climáticas	Analizar y prever los cambios en la superficie de laurisilva en los escenarios de cambio climático, identificar las zonas favorables y elaborar un plan de adaptación	Todas las islas macaronésicas	Administraciones regionales Expertos científicos	2030
	Desarrollar acciones de adaptación, conservación y restauración en las nuevas zonas favorables identificadas en el plan	Todas las islas macaronésicas	Administraciones regionales y locales; partes interesadas y ONGs	2036
Objetivos de mejora de la información				
Acciones clave	Actividades, medios y aportaciones necesarios	Ámbito geográfico	Responsabilidades	Calendario
Objetivo 5: mejorar la información sobre la diversidad y los requisitos ecológicos de la laurisilva				
Estudiar los distintos tipos de laurisilva, su distribución y sus exigencias ecológicas	Analizar la diversidad ecológica, determinar los criterios para identificar los distintos subtipos, describir y cartografiar los subtipos identificados	Todas las islas de la Macaronesia con laurisilva	Administraciones regionales, expertos científicos	2027
Estudiar los procesos ecológicos clave para mantener la laurisilva en buen estado	Analizar y determinar los requisitos y procesos ecológicos clave para mantener la laurisilva en un estado de conservación favorable, incluida la relación entre 4050 y 9360, relaciones tróficas (polinización, dispersión, herbivoría, depredación, parasitismo), suelo, etc.	Todas las islas de la Macaronesia con laurisilva	Administraciones regionales, expertos científicos	2030
Objetivo 6: mejorar la información sobre las presiones y su impacto en la laurisilva				
Estudiar las presiones y amenazas que afectan a la laurisilva	Analizar, describir y cartografiar las presiones y amenazas sobre la laurisilva en toda su área de distribución	Todas las islas de la Macaronesia con laurisilva	Administraciones regionales, expertos científicos	2027
Seguimiento del estado de conservación de la laurisilva				
Objetivo 7: mejorar la evaluación y el seguimiento del estado de conservación de la laurisilva				
Desarrollar y aplicar métodos y protocolos estandarizados para evaluar el estado de conservación de la laurisilva	Crear un grupo de trabajo conjunto para desarrollar una metodología estandarizada	Región macaronésica	Administraciones regionales, expertos científicos	2024
	Definir e implantar una metodología estándar para la evaluación y el seguimiento de la superficie ocupada (área), la estructura y función, las presiones y amenazas y las perspectivas futuras de la laurisilva		Administraciones regionales, expertos científicos	2026

Difusión y concienciación				
Objetivo 8: aumentar la concienciación sobre la importancia de la conservación y el seguimiento de la laurisilva				
Difundir la originalidad de la laurisilva y la importancia de su conservación	Elaborar y difundir material de concienciación sobre la importancia de la laurisilva para la conservación	Todas las islas macaronésicas	Administraciones regionales y locales; partes interesadas y ONGs	2024
	Informar sobre el estado actual y las necesidades de conservación de la laurisilva, así como sobre el plan de acción			2024

- ABREVIATURAS**
- RB:** región biogeográfica
 - EC:** estado de conservación
 - EFC:** estado favorable de conservación
 - VRF:** valores favorables de referencia
 - THIC:** tipo de hábitat de interés comunitario
 - EM:** Estados miembros

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alberdi, I., Vallejo, R., Álvarez-González, J.G., Condés, S., González-Ferreiro, E., Guerrero, S., Hernández, L., Martínez, M., Montes, F., Oliveira, N., Pasalodos-Tato, M., Robla, E., Ruiz-González, A.D., Sánchez-González, M., Sandoval, V., San Miguel, A., Sixto, H. & Cañellas, I. (2017) The multi-objective Spanish National Forest Inventory. *Forest Systems*, 26: 04.

Alberdi, I., Nunes, L., Kovac, M., Bonheme, I., Cañellas, I., Castro Rego, F., Dias, S., Duarte, I., Notarangelo, M., Rizzo, M. & Gasparini, P. (2019) The conservation status assessment of Natura 2000 forest habitats in Europe. Capabilities, potential and challenges of the National Forest Inventories data. *Annals of Forest Science*, 76: 34.

Aparício, B.A., Cascalho, J., Cruz, M.J., Borges, P.A.V., Azevedo, E.B., Elias, R.B. & Ascensão, F. (2018). Assessing the landscape functional connectivity using movement maps: a case study with endemic Azorean insects. *Journal of Insect Conservation*, 22: 257-265

Arozena, M.E., Panareda, J.-M. & Martín Febles, V.M. (2017) Los paisajes de la Laurisilva canaria. Ed. Kinnamon, Santa Cruz de Tenerife. 187 pp.

Brockmann-Jerosch, H., & Rubel, E. (1912) *Die Einteilung der Pflanzengesellschaften nach ökologisch physiognomischen Gesichtspunkten*. Engelmann, Leipzig. 72 pp.

Capelo, J. (ed.) (2004) A paisagem vegetal da Ilha da Madeira. *Quercetea*, 6: 3-200.

Capelo, J., Menezes de Sequeira, M., Jardim, R., Mesquita, S. & Costa, J.C. (2005) The vegetation of Madeira Island (Portugal). A brief overview and excursion guide. *Quercetea*, 7: 95-122.

Capelo, J., Menezes de Sequeira, M., Jardim, R. & Mesquita, S. (2007) Biología y Ecología das Florestas das Ilhas. Madeira. En: Silva Sande, J. (ed.) *Árvores e Florestas de Portugal. Açores e Madeira. A floresta das Ilhas*. Público, Lisboa. pp: 81-134.

Capelo, J., Menezes de Sequeira, M., Jardim, R. & Mesquita, S. (2021) 15. Vegetação dos arquipélagos da Madeira e das Selvagens. En: Capelo, J. & Aguiar, C. (eds.) *A vegetação de Portugal*. Imprensa Nacional, Lisboa. pp: 143-154.

Capelo, J. (2023) *Ecological fundamentals, methodology and practice in Favourable Reference Values (FRV) assessment of Macaronesian habitat types*. Unpublished document.

Cardoso, P., Rigal, F., Fattorini, S., Terzopoulou, S. & Borges, P.A.V. (2013). Integrating Landscape Disturbance and Indicator Species in Conservation Studies. *PLoS ONE*, 8: e63294

Chacón-Labela, J., Pescador, D.S., Escudero, A., Lloret, F., Àvila, A., Brotons, L., Castillejo, J.M., Duane, A., Gallardo, B., Herrero, A., Hódar, J.A., Nicolau, J.M., Oliet, J.A., & Roldán, M. (2019). *Descripción de procedimientos para estimar las presiones y amenazas que afectan al estado de conservación de los tipos de hábitat de bosque y matorral*. Ministerio de Transición Ecológica, Madrid, 258 pp.

Costa Neves, H., Valente, A., Faria, B., Silva, I., Marques, J., Gouveia, N., Silva, P. & Oliveira, P. 1996. *Laurissilva da Madeira. Caracterização Quantitativa e Qualitativa*. Parque Natural da Madeira. Funchal. 192 pp.

Costa Neves, H., Valente, A., Faria, B., Silva, I., Marques, J., Gouveia, N., Silva, P. & Oliveira, P. 1997. *Laurissilva da Madeira*. In: *Atlas do Ambiente Portugal, Nota explicativa VII.8*, Direção Geral do Ambiente, Lisboa.

de Nascimento, L., Nogué, S., Naranjo-Cigala, A., Criado, C., McGlone, M., Fernández-Palacios, E. & Fernández-Palacios, J.M. (2020) Human impact and ecological changes during prehistoric settlement on the Canary Islands. *Quaternary Science Reviews*, 239: 106332.

del Arco, M.J. (ed.) (2006) *Mapa de vegetación de Canarias*. GRAFCAN, Santa Cruz de Tenerife.

del Arco, M.J., 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.

Delgado, J.D., Arévalo, J.R. & Fernández-Palacios, J.M. (2001) La Fragmentación de los ecosistemas forestales. In: Fernández-Palacios, J.M. & Martín Esquivel, J.L. (eds.) *Naturaleza de las islas Canarias. Ecología y Conservación*. Ed. Turquesa, Santa Cruz de Tenerife. pp: 173-179.

Dias, E. (1996) *Classificação da vegetação dos Açores, Ecologia e sintaxonomia das Florestas naturais*. Universidade dos Açores. Angra do Heroísmo.

Dias, E., Mendes, C., Melo C., Pereira, D., Elias, R., Elias, S. & Pereira F. (2004). *Plano de Gestão Sectoriais das áreas Terrestres da Rede Natura 2000 dos Açores*. Departamento de Ciências Agrárias. Universidade dos Açores & Direcção Regional dos Serviços de Ambiente. 436p.

Dias, E., Pereira, D., Medeiros, V., Mendes, J. & Elias, R.B. (2007) Distribuição das principais manchas florestais. Açores. En: Sande Silva, J. (ed.) *Açores e Madeira. A Floresta das Ilhas*. Fundação Luso Americana / Público / Liga para a Protecção da Natureza, Lisboa. pp. 299-322.

Dias, E., Pereira, D., Pereira, D. & Mendes, C. (2012) *Natural forest of Azores. A Functional classification*. Unpublished scientific poster.

Dias, E., Mendes, C & Aguiar, C. (2021) Vegetação dos Açores. In: Capelo, J. & Aguiar, C. (eds.). *A vegetação de Portugal*. Imprensa Nacional, Lisboa. pp: 155-179.

Elias, R.B., Gil, A., Silva, L., Fernández-Palacios, J.M., Azevedo, E.B. & Reis, F. (2016) Natural zonal vegetation of the Azores Islands: characterization and potential distribution. *Phytocoenologia*, 46: 107–123.

European Commission (2013) *Interpretation Manual on European Union habitats*. D.G. Environment, Brussels, 146 pp.

European Commission (2017) *Reporting under Article 17 of the Habitats Directive. Explanatory Notes and Guidelines for the period 2013–2018*. Final version. May 2017.

Fernández-López, A.B. & Gómez González, L. (2016) Qué son los bosques antiguos de laurisilva. Su valor y situación en Canarias. In: Afonso-Carrillo, J. (ed.) *La Gomera. Entre bosques y taparuchas*. Actas de la XI Semana Científica Telesforo Bravo. pp: 177-236.

Fernández López, A.B. & Moreno, J.M. (2004) *Parque Nacional de Garajonay. La selva de Canarias*. Turquesa, Ed. Santa Cruz de Tenerife, 247 pp.

Fernández-Palacios, J.M., Arévalo, J.R., Balguerías, E., Barone, R., Elias, R.B., de Nascimento, L., Delgado, J.D., Fernández Lugo, S., Méndez, J., Menezes de Sequeira, M., Naranjo, A., & Otto, R. (2017) *La Laurisilva macaronésica. Canarias, Madeira y Azores*. Editorial Macaronesia, Santa Cruz de Tenerife, 417 pp.

Fernández-Palacios, J.M., Otto, R., Borregaard, M.K., Kreft, H., Price, J.P., Steiunbauer, M.J., Weigelt, P. & Whittaker, R.J. (2021) Evolutionary winners are ecological losers among oceanic island plants. *Journal of Biogeography*, 48: 2186-2198

- Ferreira, M.T., Cardoso, P., Borges, P.A.V., Gabriel, R., Azevedo, E.B., Reis, F., Araújo, M.B. & Elias, R.B. (2016). Effects of climate change on the distribution of indigenous species in oceanic islands (Azores). *Climatic Change*, 138: 603-615.
- Ferreira, M.T., Cardoso, P., Borges, P.A.V., Gabriel, R., Azevedo, E.B. & Elias, R.B. (2019). Implications of climate change to the design of protected areas: the case of small islands (Azores). *PlosOne*, 14: e0218168.
- Gandullo, J.M. (ed.) (1991) Estudio ecológico de la laurisilva canaria. ICONA, Madrid, 194 pp.
- Gitay, H., Suárez, A., Watson, R.T. & Dokken, D.J. (eds.) (2002) Climate Change and Biodiversity. *Intergovernmental Panel on Climate Change Technical Paper 5*: 1-77.
- Guimaraes, A. & Olmeda, C. (2008) *Management of Natura 2000 habitats * Macaronesian laurel forests (Laurus, Ocotea) 9360*. Technical Report European Commission. Brussels, 30 pp.
- Ibarrola, E., Marcibello, J., Gonzalo-Martín, C. & Martín-Esquivel, J.L. (2019) Temporal Dynamic analysis of a mountain ecosystem based on multi-source and multi-scale remote sensing data. *Ecosphere* 10: e02708.
- Inventário Florestal de la Região Autónoma dos Açores (IRAA 1 (2007-?);
- Inventário Florestal de la Região Autónoma da Madeira (IFRAM 1 (2004-2008); IFRAM 2 (2008-2015);
- Inventario Forestal Nacional (Canarias) (IFN) 1 (1966-1975); IFN 2 (1986-1996); IFN 3 (1997-2007); IFN 4 (2008-today).
- MacArthur, R. & Wilson, E.O. (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Mai, D.H. (1989) Development and regional differentiation of the European vegetation during the Tertiary. *Plant Systematics and Evolution*, 162: 79-91.
- Martín Esquivel, J.L. (2022) *Climate change impact on laurel forests in Tenerife. Unpublished report*. Original in Spanish: Impacto del cambio climático sobre la laurisilva y el fayal brezal de Tenerife. Consejería de Transición Ecológica, Gobierno de Canarias, Santa Cruz de Tenerife.
- Meneses, D.L., Freitas, I.C., Gouveia, L.M., Mateus, M.G., Domingues, M., Oliveira, P. & Fontinha, S. (2006) *A Floresta Laurissilva da Madeira. Património Mundial*. Região Autónoma da Madeira, Funchal, 104 pp.
- Mesquita, S., Capelo, J. & Sousa, J. (2004) Bioclimatologia da Ilha da Madeira: Abordagem Numérica. *Quercetea*, 6: 47-60.
- Mesquita, S., Capelo, J., Jardim, R., Menezes de Sequeira, M. (2007) Distribuição das principais manchas florestais. Madeira. En: Sande Silva, J. (ed.) *Açores e Madeira. A Floresta das Ilhas*. Fundação Luso Americana / Público / Liga para a Protecção da Natureza, Lisboa. pp. 323-335
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R. & Muñoz, M. (2005) Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. *Monografías INIA, serie Forestal*, 13: 1-275.
- Ohsawa, M., Wildpret, W. & del Arco, M. (eds.) (1999) *Anaga cloud forest. A comparative study on evergreen broad-leaved forests and trees of the Canary Islands and Japan*. Laboratory of Ecology, Chiba University, Chiba. 315 pp.

Ohsawa, M., Shumiya, T., Nitta, I., Wilpret, W. & del Arco, M.J. (2010) Comparative structure, pattern, and tree traits of laurel cloud forests in Anaga, northern Tenerife (Canary Islands) and in lauro-fagaceous forests of central Japan. *Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management*, eds. L.A. Bruijnzeel, F.N. Scatena, and L.S. Hamilton. Published by Cambridge University Press. # Cambridge University Press. pp: 147-155

Otto, R., Garzón-Machado, V., del Arco, M., Fernández-Lugo, S., de Nascimento L., Oromí, P., Báez, M., Ibáñez, M., Alosó, M.R. & Fernández-Palacios, J.M. (2017) Unpaid extinction debts for endemic plants and invertebrates as a legacy of habitat loss on oceanic islands. *Diversity and Distributions*, 23: 103-1041.

Otto, R., Rocafull, E., Rodríguez Arbelo, F., Sierra, N., de Nascimento, L. & Fernández-Palacios, J.M. (2022) *Memoria parcial 2022 del proyecto de investigación “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono”*. Universidad de La Laguna, inédito.

Pescador D.S., Vayreda, J., Escudero, A., Lloret, F. (2019) *Identificación de tipos de hábitat de bosque y matorral no representado en las parcelas del IFN y descripción de procedimientos para evaluar su estado de conservación*. Ministerio de Transición Ecológica, Madrid. 31 pp.

Pescador, D.S., Vayreda, J., Escudero, A., Lloret, F. 2022. El potencial del Inventario Forestal Nacional para evaluar el estado de conservación de los tipos de Hábitat Forestales de Interés Comunitario: nuevos retos para cumplir con las políticas de conservación de la biodiversidad. *Ecosistemas* 31: 2384.

Renner, S., Otto, R., Martín-Esquivel, J.L., Marrero-Gómez, M.V. & Fernández-Palacios, J.M. (2022) Vegetation change on Mt. Teide, the Atlantic's highest volcano, inferred by incorporating the data underlying Humboldt's *Tableau Physique des Iles Canaries*. *Journal of Biogeography*, 50: 251-261.

Rosenzweig, M.L. (1995) *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press, Cambridge.

Sande Silva, J. (ed.) 2007 *Árvores e Florestas de Portugal. Açores e Madeira. A floresta das Ilhas*. Público, Lisboa, 362 pp.

Santana, A. (2001) *Evolución del paisaje de Gran Canaria (siglos XV-XIX)*. Ediciones del Cabildo Insular de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.

Santos-Guerra, A. (1990) *Bosques de Laurisilva en la región Macaronésica*. Colección Naturaleza y Medio ambiente, 49. Consejo de Europa, Estrasburgo, 80 pp.

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

Sperling, F.N., Washington, R. & Whittaker, R.J. (2004) Future climate change of the subtropical North Atlantic: implications for the cloud forests of Tenerife. *Climatic Change*, 65: 103–123.

Still, C.J., Foster, P.N. & Schneider, S.C. (1999) Simulating the effects of climate change on tropical mountain cloud forests. *Nature*: 398, 608–610.

Thompson, S.K. (2012) *Sampling*. Wiley, London, 445 pp.

Triantis, K.A., Borges, P.A.V., Ladle, R.J., Hortal, J., Cardoso, P., Gaspar, C., Dinis, F., Mendoça, E., Silveira, L.M.A., Gabriel, R., Melo, C., Santos, A.C., Amorim, I.R., Ribeiro, S.P. Serrano, A.R.M., Quartau, J.A. & Whittaker, R.J. (2010) Extinction debt on oceanic islands. *Ecography*, 33: 285-294.

Walker, S., Price, R. & Rutledge, D. (2005) *New Zealand's remaining indigenous cover: recent changes and biodiversity protection needs*. Landcare Research, Wellington, 82 pp. Department of Conservation PO Box 10420, The Terrace Wellington 6143, New Zealand. [New Zealand's remaining indigenous cover: recent changes and biodiversity protection needs \(doc.govt.nz\)](#).

Whittaker, R.J. & Fernández-Palacios, J.M. (2007) *Island Biogeography. Ecology, evolution and conservation*. 2nd Ed. Oxford University Press, Oxford.

ANEXOS

Anexo 1: Caracterización ecológica del 9360

Anexo 2: El 9360 dentro de la red Natura 2000

Anexo 3: Protocolo de seguimiento espacial del HTCI 9360 utilizando el NDVI y diferentes técnicas de teledetección (Autor: J.J. García Alvarado; colaboradores: E. Sánchez Rodríguez y J.M. Fernández-Palacios).

Anexo 4: Mapas de la distribución potencial del 9360 en la Macaronesia (Fuente: Fernández-Palacios *et al.*, 2017).

Anexo 5: Mapas de la distribución actual del 9360 y límites de las áreas protegidas Natura 2000 en la Macaronesia.

Anexo 6: Respuesta de las administraciones regionales al cuestionario sobre cómo se evaluaron la superficie, la estructura y función del 9360 para el informe en virtud del artículo 17.

Anexo 7: Respuesta de las administraciones regionales al cuestionario sobre cómo se evaluaron las presiones y amenazas del 9360 para el informe en virtud del artículo 17.

Anexo I Caracterización ecológica del 9360

Características relevantes		Elementos (valor medio y rango entre paréntesis cuando se conocen, incluidas las referencias).	Canarias (subtipos 9360) Laurisilva seca (Apollonias-Piconia) Laurisilva húmeda (Laurus-Ilex) Laurisilva fría (Morella-Erica arborea) Laurisilva de cresterías (Erica platycodon) Higrófila laurisilva (Ocotea)	Madeira (subtipos 9360) Laurisilva de Barbusano (Apollonias-Ilex) Laurisilva de Til (Ocotea-Clethra)	Azores (subtipos 9360) Laurisilva de zonas bajas (Morella-Piconia) Laurisilva submontana (Laurus)
Características abióticas					
Físicas	Clima	Precipitaciones anuales (mm)	Entorno a 800-1000 mm + goteo de niebla (que dependiendo del sitio puede ser poco importante o el doble de la cantidad de precipitación vertical) (4)	1500 – 3000 mm (17, 18, 19, 20) Laurisilva de Barbusano: 600 – 1400 mm (24, 17, 43, 20) Laurisilva de Til: se estima que las precipitaciones de 1200 - 2500 mm + niebla en este bosque, registradas en estaciones situadas a unos 1000 m de altitud, aumentan el aporte de agua en un 20% (24, 17, 43, 19, 20).	1618 ± 356 a 2203 ± 306 mm (41)
		Cinturón del mar de nubes: rango altitudinal (m) e incidencia de la estacionalidad	Entorno a 500-600 a 1200-1500 m en las laderas de barlovento (NE), siendo en invierno más alta, más gruesa y menos frecuente y en verano más baja, más fina y más frecuente (4)	800-1600m en la vertiente N, > 200 días/año (18, 19) El mar de nubes persiste durante más de 200 días al año, entre 800 y 1600 m, en la costa norte de la isla de Madeira. Son el resultado del enfriamiento adiabático de los vientos alisios del noreste que son interceptados y forzados hacia arriba por la cordillera de relieves escarpados y orientados este-oeste de las islas. (44, 19, 21)	
		Temperatura media anual (° C)	14-16°C (4)	6-20°C (17-20) Laurisilva de Barbusano: Entre 15°C y 20°C (24,17, 43, 20) Laurisilva de Til: Entre 9-18°C (24; 17, 43, 20).	16.9 ± 0.8 - 14.9 ± 0.4 °C (41)
		Incidencia del viento	Suele estar afectada por vientos alisios ligeros, con tormentas atlánticas poco frecuentes (4)	Predominantemente del NE resultante de una rama oriental del anticiclón de las Azores (17, 20) Predominio de vientos alisios del noreste, resultantes de una rama oriental del anticiclón de las Azores. Vientos secos y cálidos del SE ocasional, con fuerte influencia norteafricana y vientos subtropicales del suroeste, con precipitaciones elevadas (17, 20).	Vientos predominantes del SO, O y NO
	Distribución	Altitud (m)	Restringida a la zona de influencia del mar de nubes (véase más arriba) en la vertiente de barlovento y sólo ocasionalmente representada (barrancos profundos, laderas de montañas orientadas al norte) en la vertiente de sotavento. En islas de mediana altitud (La Gomera) o regiones insulares (Teno, Anaga) ocupando las cumbres (4)	800-1450 m en la vertiente S y 300-1400 m en la vertiente N (17, 18, 21) Laurisilva de barbusano: Entre 300-800 m en la costa sur de la isla de Madeira y entre 50-400 (600) m en la costa norte de la isla de Madeira (24, 17, 43) Laurisilva de til: Entre 800-1450 m en la costa sur de la isla de Madeira y entre 300-1400 m en la costa norte de la isla de Madeira (24, 17, 21, 43)	Bosque de zonas bajas de laurisilva: 100 - 300 m; Laurisilva submontana: 300 a 600 m (41)

		Pendiente	Variable, pero domina el terreno en pendiente	Mayoritariamente > 30° (20)	
		Exposición	Barlovento (NE)	Casi exclusivamente en la vertiente N. Pequeña porción en la ladera S (18)	
	Suelos	Tipo	Andosoles	Principalmente andosoles umbrófilos y terreno accidentado. Cambisoles en menor medida, principalmente en altitudes más bajas (22) Laurissilva de barbusano: La mayor parte se encuentra en el norte de la isla de Madeira, expuesta a los vientos alisios dominantes del norte. Pequeñas porciones dispersas en la vertiente suroeste de la isla de Madeira (24, 44) Laurissilva de til: Casi exclusivamente en la cara norte de la isla de Madeira, expuesta a los vientos alisios dominantes del norte. Pequeña porción en la vertiente sur de la isla de Madeira (24, 44) Laurissilva de viñático: Casi exclusivamente en el norte de la isla de Madeira (24, 44)	Andosoles
		Contenido en materia orgánica (%)	[ANAGA,TF] 3.64-6.57 (15)	Andosoles úmbricos: 7-15% (20)	311.9 g/kg (= 31 %) (14)
		Contenido en carbono (%)	[ANAGA,TF] 2.12-3.82 (15)	Profundidad (0-30 cm) Cambisoles: 7.5 kg/m ² (media); Andosoles: 12.1 kg/m ² (media). Profundidad (0-100 cm) Cambisoles: 15.6 kg/m ² (media); Andosoles: 26.7 kg/m ² (media) (23)	34.2 t/ha (14)
		C/N	[ANAGA,TF] 11,15-13,64 (15); 13.76-16.85 (8, 10)		
		Profundidad (m)	1.5 – 3 m (15)	Andosoles > 0,5m (20) Andosoles de más de 0,5 m de profundidad (20)	
	Químicas	pH del suelo	[ANAGA,TF] 5.4-5.9 (8, 10)	Andosoles úmbricos 4.5-5.5; Cambisoles 5.6-7.2 (20)	5.2 (14)
		Salinidad del suelo			
		Principales aniones del suelo (µg/g)	N-NO ₃ ⁻ (9,30-12,88); (10)		
		Principales cationes del suelo (mEq/100 g)	[ANAGA,TF] Mg (5.71-7.78), Ca (2.76-4.81), K (1.85-2.03), Na (0.59-1.82) (8, 10)		

Características biogeográficas					
Composición característica de las especies: principales especies que definen el hábitat 9360	Flora	Riqueza de especies de árboles del dosel del hábitat	Entorno a 20 especies arbóreas en unas pocas hectáreas (4)	Entorno a 20 especies arbóreas en unas pocas hectáreas (4, 18) Total de 20 especies de árboles (24, 44, 4)	7 esp. (<i>Laurus azorica</i> , <i>Picconia azorica</i> , <i>Morella faya</i> , <i>Ilex azorica</i> , <i>Juniperus brevifolia</i> , <i>Frangula azorica</i> , <i>Erica azorica</i>) (41)
		Especies arbóreas de dosel más características	<i>Ilex</i> , <i>Laurus</i> , <i>Morella</i> , <i>Persea</i> , <i>Picconia</i>	<i>Apollonias</i> , <i>Clethra</i> , <i>Ilex</i> , <i>Laurus</i> , <i>Morella</i> , <i>Ocotea</i> , <i>Persea</i> , <i>Picconia</i> (24) <i>Laurissilva</i> de <i>barbusano</i> : <i>Apollonias barbujana</i> subsp. <i>barbujana</i> , <i>Ilex canariensis</i> , <i>Laurus novocanariensis</i> , <i>Morella faya</i> <i>Laurissilva</i> de til: <i>Ocotea foetens</i> , <i>Laurus novocanariensis</i> , <i>Clethra arborea</i> , <i>Heberdenia excelsa</i> , <i>Persea indica</i> , <i>Ilex perado</i> subsp. <i>perado</i> , <i>Morella faya</i> , <i>Picconia excelsa</i> (24, 44, 4)	<i>Picconia azorica</i> y <i>Morella faya</i> en <i>laurissilva</i> de zonas bajas; <i>Laurus azorica</i> en <i>laurissilva</i> submontana (41)
		Principales especies de espermatófitos del sotobosque	<i>Cedronella</i> , <i>Isoplexis</i> , <i>Ixanthus</i> , <i>Pericallis</i> , <i>Phyllis</i> , <i>Ranunculus</i>	<i>Vaccinium padifolium</i> , <i>Cedronella canariensis</i> , <i>Phyllis nobla</i> , <i>Laurissilva</i> de <i>barbusano</i> : <i>Woodwardia radicans</i> , <i>Asplenium onopteris</i> , <i>Dryopteris aitoniana</i> , <i>Davallia canariensis</i> , <i>Polypodium macaronesicum</i> , <i>Selaginella kraussiana</i> , <i>Selaginella denticulata</i> , <i>Pteris incompleta</i> (24). <i>Laurissilva</i> de til: <i>Pteris incompleta</i> , <i>Asplenium onopteris</i> , <i>Stegenogramma pozoi</i> , <i>Diplazium caudatum</i> , <i>Woodwardia radicans</i> , <i>Dryopteris aemula</i> , <i>Dryopteris maderensis</i> , <i>Dryopteris aitoniana</i> , <i>Arachnioides webbianum</i> , <i>Blechnum spicant</i> , <i>Culcita macrocarpa</i> (24).	<i>Vaccinium cylindraceum</i> , <i>Myrsine retusa</i> , <i>Lysimachia azorica</i> , <i>Luzula purpurea-splendens</i> (41)
		Principales especies de helechos	<i>Asplenium</i> , <i>Culcita</i> , <i>Davallia</i> , <i>Diplazium</i> , <i>Dryopteris</i> , <i>Polystichon</i> , <i>Vandenboschia</i> , <i>Woodwardia</i> ,	<i>Arachnioides webbianum</i> , <i>Asplenium onopteris</i> , <i>Blechnum spicant</i> , <i>Culcita macrocarpa</i> , <i>Diplazium caudatum</i> , <i>Dryopteris aitoniana</i> , <i>D. maderensis</i> , <i>Pteris incompleta</i> , <i>Woodwardia radicans</i> (24)	<i>Dryopteris azorica</i> , <i>Culcita macrocarpa</i> , <i>Blechnum spicant</i> , <i>Dryopteris aemula</i> (41)

Principales especies de briófitos	<i>Cryptoleptodon</i> , <i>Exerthotheca</i> , <i>Homalothecium</i>	<i>Plagiochila maderensis</i> , <i>Cryptolentodon longisetus</i> , <i>Homalothecium mandonii</i> , <i>Exerthotheca intermedia</i>	<i>Alophosia azorica</i> ; <i>Andoa berthelotiana</i> ; <i>Breutelia azorica</i> ; <i>Echinodium renauldii</i> ; <i>Hypnum curpressiforme</i> ; <i>Myurium hochstetteri</i> ; <i>Thuidium tamariscinum</i> ; <i>Metzgeria furcata</i> ; <i>Drepanolejeunea hamtifolia</i> ; <i>Lejeunea lamarecina</i> ; <i>Lepidozia cupressina</i>
Principales especies de líquenes	<i>Cladonia</i> , <i>Hypogymnia</i> , <i>Lobularia</i> , <i>Nephroma</i> , <i>Pseudocyphellaria</i> , <i>Sticta</i> , <i>Usnea</i>	<i>Nephroma</i> , <i>Usnea</i> , <i>Lobaria</i> , <i>Sticta</i> , <i>Pseudocyphellaria</i> , <i>Hypogymnia</i> , <i>Degelia</i> , <i>Leptogium</i> , <i>Cladonia</i> , <i>Peltigera</i> , <i>Teloschistes</i> , <i>Lethariella</i> , <i>Ramalina</i>	<i>Usnea flamea</i> , <i>Degelia atlantica</i> , <i>Sticta canariensis</i> , <i>Cladonia</i> spp., <i>Bacidia rosella</i>
Principales especies de hongos	<i>Armillaria</i> , <i>Ganoderma</i> , <i>Gymnopilus</i> , <i>Laurobasidium</i> , <i>Hypholloma</i> , <i>Scutelinia</i> , <i>Phellinus</i> , <i>Stereum</i> , <i>Trametes</i> , <i>Tremella</i> , <i>Botryobasium</i> , <i>Hyphoderma</i> , <i>Hyphodontia</i> , <i>Peniophora</i> , <i>Phlebia</i> , <i>Sistotrema</i> ,	<i>Flammula angulatispora</i> ; <i>Marasmius amaryllidis</i> , <i>Phalus maderensis</i> , <i>Botryobasium</i> , <i>Hyphoderma</i> , <i>Hyphodontia</i> , <i>Peniophora</i> , <i>Phlebia</i> , <i>Sistotrema</i> ,	<i>Calycellina lauri</i> , <i>Clitocybula wildpretii</i> , <i>Coccoomyces ericae</i> , <i>Hygrophorus cavipies</i> , <i>Lagarobasicius calongei</i> , <i>Lambertella myricae</i> , <i>Moellerodiscus hederæ</i> , <i>Repetobasidium azoricum</i> , <i>Skeletocutis azorica</i> , <i>Botryobasium</i> , <i>Hyphoderma</i> , <i>Hyphodontia</i> , <i>Peniophora</i> , <i>Phlebia</i> , <i>Sistotrema</i> ,
% de endemidad de plantas vasculares en el hábitat	Endemidad alta a muy alta (principalmente macaronésica) (< 80%) (4)	Endemidad alta a muy alta (principalmente macaronésica) (> 80%) (4)	50-60% (41)
% de endemidad de plantas no vasculares en el hábitat	Bajo a muy bajo (< 10%) (4)	< 5%; existen 7 especies de briófitas endémicas de Madeira: <i>Acrobolbus maderensis</i> , <i>Echinodium setigerum</i> , <i>Fissidens nobreganus</i> , <i>Hedenisiastrum percurrans</i> , <i>Nobregae laetivervis</i> , <i>Porella inaequalis</i> , <i>Thamnobryum fernandesii</i>	

Fauna	Riqueza de especies de aves del hábitat	10-15	10-15	11-12
	Principales especies de aves del hábitat	<i>Columba bollii</i> , <i>C. junoniae</i> , <i>Fringilla canariensis</i> , <i>Erythacus</i> , <i>Turdus merula</i> , <i>Regulus</i>	<i>Buteo buteo buteo</i> , <i>Columba trocaz</i> , <i>Regulus ignicapillus madeirensis</i> , <i>Erithacus rubecula rubecula</i> , <i>Falco tinnunculus canariensis</i> , <i>Fringilla coelebs maderensis</i> , <i>Turdus merula cabreræ</i> , (4, 25).	<i>Regulus regulus</i> spp.; <i>Sylvia atricapilla gularis</i> ; <i>Motacilla cinerea patriciae</i> ; <i>Buteo buteo rothschildi</i> ; <i>Columba palumbus azorica</i> ; <i>Erithacus rubecula</i> ; <i>Fringilla coelebs moreletti</i> ; <i>Turdus merula azorensis</i>
	Riqueza de especies de murciélagos del hábitat	3-5	3-5 (26, 27)	1
	Principales especies de murciélagos	<i>Plecotus teneriffae</i> , <i>Pipistrellus maderensis</i> , <i>Tadarida teniotis</i> (4)	<i>Pipistrellus maderensis</i> , <i>Nyctalus leisleri verrucosus</i> , <i>Plecotus austriacus</i> (4, 26, 28) Laurissilva de barbusano: <i>Pipistrellus maderensis</i> , <i>Nyctalus leisleri verrucosus</i> , <i>Plecotus austriacus</i> (28, 4, 26) Laurissilva de til: <i>Pipistrellus maderensis</i> , <i>Nyctalus leisleri verrucosus</i> , <i>Plecotus austriacus</i> (28, 4, 26).	<i>Nyctalus azoreum</i>
	Principales especies de artrópodos	<i>Laparocerus</i> , <i>Carabus</i> , <i>Calathus</i> , <i>Dysdera</i> , <i>Tarphius</i>	750 - 1000 especies endémicas referenciadas (28 y opinión de expertos).	<i>Trigoniphthalmus borgesii</i> ; <i>Calacalles subcarinatus</i> ; <i>Calathus</i> spp., <i>Drouetius borgesii</i> ; <i>Notothecta dryochares</i> ; <i>Tarphius</i> spp.; <i>Cixius</i> spp.; <i>Pinalitus oromii</i> ; <i>Argyresthia atlanticella</i> ; <i>Pseudophloeophagus tenax borgesii</i>

		Principales especies de moluscos	<i>Insulivitrina</i> , <i>Hemicycla</i> , <i>Napaeus</i> , <i>Canariaella</i>	54 especies endémicas referenciadas (30, 31, 32), con especial atención a <i>Leiostyla</i> (22 especies) y <i>Plutonia</i> (4 especies).	<i>Craspedopoma hespericum</i> ; <i>Lauria fasciolata</i> ; <i>Leiostyla fuscidula</i> ; <i>Acanthinula azorica</i> ; <i>Spermodea monas</i> ; <i>Napaeus delibutus</i> ; <i>Punctum azoricum</i> ; <i>Plutonia atlantica</i>
		% endemidad fauna vertebrada	Mediana (<i>Columba</i> , <i>Fringilla</i> , <i>Erythacus</i> , <i>Plecotus</i> , <i>Pipistrellum</i>) (aprox. 50%)		60 %
		% endemidad fauna invertebrada	Muy alta (insectos, arañas, moluscos, etc.) (> 80%)		50 %
Características ecológicas (estructura y función)					
Estructura del hábitat	Altura del dosel rango y media (m)	Entorno a 10-40 m y un valor medio de 20 m en lugares llanos. Mucho menor en terrenos inclinados (4). Sólo se obtienen valores de dosel superiores en masas maduras de laurisilva, como el PN de Garajonay.		Entre 20-40 m (<i>Ocotea</i> , <i>Persea</i> y <i>Laurus</i> como especies arbóreas más altas) (4, 21)	5-15 m (media 7.70 m) (41)
	Número de estratos de vegetación	2-3 según la localidad y su estado de conservación	4; Estratos arbóreos, estratos arbustivos, estratos herbáceos y suelo forestal		4 estratos verticales + trepadoras + epífitas (41)
	Área basal (m ² /ha)	[LG] 64.0 m ² /ha (4) (bosque maduro) [ANAGA,TF] 39.0-58.0 m ² /ha (4,8)	Datos disponibles en las clases BA (13): < 5 m ² /ha: 3205 ha 5-10 m ² /ha: 4407 ha 10-15 m ² /ha: 1602 ha 15-20 m ² /ha: 2003 ha 20-25 m ² /ha: 401 ha 25-30 m ² /ha: 1602 ha >30 m ² /ha: 2003 ha		[TER] 14.0-47.0 m ² /ha (15) (datos tróficos referidos principalmente a la laurisilva submontana) 37,1 m ² /ha (considerando todos los tallos > 2.5 cm DAP) (14)

DAP medio (cm)	[LG] 31,3 cm (4) (bosque maduro) [ANAGA,TF] 22.2-25.5 cm (4)		[TER] 13.74-18.81 cm (15) 7.7 cm (mín 2.5 cm; máx 36.9 cm) (considerando todos los tallos > 2.5 cm DAP) (14)
Densidad de tallos (n.º de tallos/ha)	[LG] 832,50 tallos/ha (4) (bosque maduro) [ANAGA,TF] 1100-1400 tallos/ha (4) ¿[LP]?	Comunidad: 740 ejem./ha (13) Laurus: 140 ind./ha; Ocotea: 90 ind./ha; Morella: 74 ind./ha; Clethra: 50 ind./ha; Persea: 18 ind./ha. (33) Superficie sensu densidad (13) < 300 ind./ha: 3605 ha 300 a 600 ind./ha: 3205 ha 600 a 900 ind./ha: 2804 ha 900 a 1200 ind./ha: 2804 ha >1200 ind./ha: 2804 ha	3100-3770 tallos/ha (14) [TER] 720-1800 tallos/ha (15) 1373 tallos/ha (considerando tallos > 10 cm) (¿fuente?)
Densidad de árboles (o % de los árboles) por clase de DAP	[LG] < 12.5 cm: 8%; 12.6-22.5 cm: 29%; 22.6-42.5 cm: 42%; > 42.5 cm: 22% (1) [LP] < 12.5 cm: 13%; 12.6-22.5 cm: 41%; 22.6-42.5 cm: 28%; > 42.5 cm: 3% (1) [TF] < 12.5 cm: 29%; 12.6-22.5 cm: 47%; 22.6-42.5 cm: 18%; > 42.5 cm: 1% (1)	< 15 cm: 69%. 15-22.5 cm: 22 % 22.5-30.0 cm: 6 % 30-37.5 cm: 2 % 37.5-45 cm: 1 % > 45 cm: 1% (13)	TER] < 15 cm: 48 % 15-25 cm: 42 % 25-35 cm: 9 % 35-45 cm: 1 % > 45 cm: 0,2 % (15)
Dominancia/codominancia (n.º de ejemplares por especie arbórea y/o por área basal)	[LG] <i>Morella, Laurus, Persea, Ilex</i> (1) [LP] <i>Persea, Laurus, Morella</i> (1) [TF] <i>Laurus, Morella, otros</i> (1)	<i>Laurus, Clethra, Morella, Erica, Ocotea</i> (4) En % de frecuencia (13) <i>Laurus</i> : 84 %; <i>Clethra</i> : 71 %; <i>Morella</i> : 61%; <i>Erica arborea</i> : 47%; <i>Ocotea</i> : 18%; <i>Persea</i> : 5%; <i>Juniperus cedrus</i> : 5%; <i>Picconia</i> : 3 %	[TER] <i>Erica, Laurus, Juniperus, Ilex, Frangula, Picconia</i> (15) <i>Laurus azorica</i> (18,9 m²/ha)
Biomasa aérea (t/ha)	[LG] 300-450 t/ha (1) [LP y TF] 180-300 t/ha (1) Obs: en parcelas de bosque maduro LG: 450-500 t/ha (1)	103 t/ha (13)	162,4 t/ha (14)

Biomasa subterránea (t/ha)	[LG] 170-240 t/ha (1) [LP,TF] 100-150 t/ha (1) Obs: en parcelas de bosque maduro LG: 230-250 t/h (1)	25 t/ha (13)	71.4 t/ha (14)
Biomasa total (t/ha)	[LG] 500-700 t/ha (1) [LP,TF] 200-450 t/ha (1) Obs: en parcelas de bosque maduro LG: 700-750 t/ha (1)	128 t/ha (13)	233.8 t/ha (14)
Madera muerta (t/ha)	[LG] 3-60 t/ha (2.6) [LP] 3-30 t/ha (2.6) [TF] 5-20 t/ha (2.6)	310 m³/ha de madera muerta, 3% de árboles muertos (13); 11.3 t/ha (13)	?
Hojarasca (t/ha)	[ANAGA,TF] 7,2-14,7 t/ha (3)	7.3 t/ha (13)	1.34 t/ha (14)
Necromasa total (t/ha)	[LG] 10-75 t/ha [LP] 10-40 t/ha [TF] 12-35 t/ha	18.6 t/ha (13)	?
Biomasa total + necromasa (t/ha)	[LG] 510-775 t/ha [LP,TF] 210-500 t/ha	136.6 t/ha (13)	233.8 t/ha (14)
Contenido de C en la biomasa + necromasa (t/ha)	[LG] 250-380 t/ha (1) [PL y TF] 100-250 t/ha (1) Obs: en parcelas de bosque maduro LG: 350-370 t/ha (1)	68.3 t/ha (13)	133.6 t/ha (14)
Contenido de C en el suelo Carbono (t/ha)	[LG] 223-430 t/ha (5)	18.4 kg/m² (= 184 t/ha) (23)	25.8-76.1 t/ha (14)
Total de C (t/ha)	[LG] 480-800 t/ha (1.5)	Datos en t/ha no disponibles; sólo en 1000 t (= Gg) para toda la zona de laurisilva de Madeira (15 354 ha) (13) Biomasa superficial: 783 Gg (51 t/ha) Biomasa arbórea total: 974 Gg (63.4 t/ha) Superficial en arbustos: 128 Gg (8 t/ha) Hojarasca: 56 Gg (3,6 t/ha) Madera muerta: 9 Gg (0,6 t/ha)	160-225 t/ha (14)
NPP (t/ha año)	[ANAGA,TF] 8.6 t/ha año (7)	600-650 g C/ m² año) (17) = 12-13 t/ha año	
Velocidad de descomposición (k)			
Índice de ÁREA foliar (LAI)	[ANAGA,TF] 4.80-5.49 (8)		

		Abundancia de epífitas (t/ha)	Briofitas efífitas: 5 t/ha (12)			
		Abundancia de briofitas	Gran abundancia de líquenes y musgos en el 92% de la superficie de Madeira (13)			Gran abundancia de briofitas, especialmente en la laurisilva submontana (Gabriel, com. pers.)
		Abundancia de invertebrados	Alto porcentaje de endemidad en los siguientes taxones: Coleópteros, isópodos, diplópodos, arácnidos y moluscos, entre otros (4)			
Función del hábitat	Madurez del hábitat	Edad de los rodales maduros	> 500 años (11)			
		% de rodales maduros	[Canarias] 3.5% (3000 ha) (11)			
		Edad media de los rodales	Los bosques 9360 con bajo valor de conservación ocupan 21300 ha, con medio 6500 ha, y con alto, sólo 3000 ha, de 87000 ha potenciales en Canarias (11)			
	Estrategias reproductivas	Principales expresiones sexuales presentes con ejemplos	Dioecia extendida real (Ilex, Laurus, Morella) o funcional (Apollonias, Persea, Ocotea) (4), con desequilibrio hacia la proporción de sexos masculinos (16)	Idem a Canarias		Dioecia (Laurus, Morella, Ilex, Juniperus); Androdioecia (Picconia); Hermafroditismo (Frangula, Erica) (4)
		Principales mecanismos de reproducción (bancos de semillas, de plántulas o de chupones) con ejemplos	Existencia de bancos de plántulas (en lugar de semillas) (con pocas excepciones, como Erica). Prevalencia de la reproducción asexual por rebrotación (riberas de chupones) (Lauraceae, Aquifoliaceae, Prunus, Morella) (4)	Bancos de plántulas para la mayoría de las Lauráceas (Laurus, Ocotea, Persea, Apollonias) y otras especies arbóreas dominantes (Clethra, Ilex, Picconia) en el bosque; Rebrotos (bancos de chupones) para algunas especies de Lauráceas (Laurus, Ocotea, Persea), así como para Clethra, Pittosporum, Morella y Salix ; bancos de semillas de otras especies arbóreas, arbustivas y herbáceas del bosque (4)		Banco de semillas y rebrote (Laurus); Banco de semillas y rebrote (Morella); Las plántulas crecen bajo el dosel (Picconia, Ilex y Frangula); Banco de semillas (Juniperus y Erica) (4)

Plántulas por ha		[ANAGA,TF] 12300-16400 plántulas/ha (9)	844 plántulas/ha (<i>Laurus, Ilex</i>); 2089 brinzales/ha (<i>Laurus</i>), 1911 brinzales/ha (<i>Ilex</i>); 533 brinzales/ha y 1377 brinzales/ha (<i>Frangula</i>) (42)
Tasa de supervivencia de las plántulas (%)		[ANAGA,TF] 5.68- 12.28 % (9)	
Tipos de polinización (%)		Entomogamia generalizada (<i>Halictinae</i> y <i>Lasioglossum chalcodes</i> ; mariposas <i>Pieris cheiranthi</i> , <i>Gonepteryx cleobule</i> , <i>Heringia adpropinquans</i> y moscas <i>Tachina</i> spp.) (16, 37)	Insectos (<i>Laurus, Picconia, Ilex, Frangula</i>); Viento (<i>Morella, Juniperus</i>); Viento e insectos (<i>Erica</i>) (4)
Tipos de dispersión (%)		Ornitocoria generalizada (<i>Columba, Erithacus, Turdus</i>)	Ornitocoria generalizada (sobre todo <i>Columba trocaz, Fringilla coelebs madeirensis, Turdus merula cabreræ, Regulus ignicapillus madeirensis, Erithacus rubecula rubecula</i>). La mayoría de las especies vegetales dominantes de la Laurisilva producen frutos carnosos. El tamaño de la fruta determina el agente aviar (4, 34, 35, 36).
Relaciones con otros HTCI	Relación espacial (ecotonos)	El HTCI 9360 forma ecotonos en crestas montañosas con el HTCI 4050 (4)	Ornitocoria generalizada (<i>Fringilla, Turdus</i>), excepto <i>Erica</i> (viento) (4)
	Relaciones dinámicas (sucesión)	El HTCI 4050 es el secundario, la formación de sustitución después de la perturbación en el HTCI 9360 (4)	Relación con los brezales macaronésicos endémicos del HTCI (4050), con las laderas rocosas silíceas con vegetación casmofítica (8220) y con la roca silícea con vegetación pionera del <i>Sedo-Scleranthion</i> o del <i>Sedo albi-Veronicion dillenii</i> (8230)

NOTA: las casillas sin rellenar se deben a falta de conocimientos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ANEXO I

- (1) Otto, R. et al. (2021) *Memoria parcial del año 2021 del proyecto de investigación “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono”*. Universidad de La Laguna, inédito.
- (2) Otto, R. et al. (2022) *Memoria parcial del año 2022 del proyecto de investigación “Cuantificación de la potencialidad de los ecosistemas terrestres canarios para la captura de carbono”*. Universidad de La Laguna, inédito
- (3) Fernández-Palacios, J.M. & López, R.J. (1992) Evaluación del mantillo en los ecosistemas tinerfeños más característicos. *Rev. Academia Canaria Ciencias*, 4: 65-78.
- (4) Fernández-Palacios, J.M. et al. (2017) *La Laurisilva. Canarias, Madeira y Azores*. Macaronesia Ed. Santa. Cruz de Tenerife, 425 pp.
- (5) Armas-Herrera, C. (2009) *Caracterización físico-química y dinámica del carbono orgánico en los suelos de algunos ecosistemas de las Islas Canarias*. PhD Thesis, ULL.
- (6) Alberdi, I. et al. (2020) Deadwood stocks in south-western European forests: Ecological patterns and large-scale assessments. *Science of the total Environment*, 747: 141237.
- (7) Fernández-Palacios, J.M. et al. (1992) Descripción ecológica y evaluación de la productividad primaria neta de cuatro estaciones representativas de los ecosistemas más característicos de Tenerife. *Studia Oecologica*, 9: 105-124.
- (8) Fernández-Palacios, J.M. & Arévalo, J.R. (1998) Regeneration strategies of tree species in the laurel forest of Tenerife (The Canary Islands). *Plant Ecology*, 137: 21-29.
- (9) Fernández-Lugo, S. et al. (2015) Seedling survival patterns in Macaronesian laurel forest: a long-term study in Tenerife (Canary Islands). *Forestry*, 88: 121-130.
- (10) Fernández-Caldas, E. et al. (1982) *Suelos de regiones volcánicas. Tenerife (Islas Canarias)*. Secretariado de Publicaciones, Universidad de La Laguna. 257 pp.
- (11) Fernández López, Á.B. & Gómez González, L. (2016) Qué son los bosques antiguos de laurisilva. Su valor y situación en Canarias. In: Afonso Carrillo, J. (ed.) *La Gomera: entre bosques y taparuchas*. Actas XI Semana Científica Telesforo Bravo Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. pp: 177-236.
- (12) Zippel, E. (1998) Die epiphytische Moosvegetation der Kanarischen Inseln: Soziologie, Struktur und Ökologie. *Bryophytorum Bibliotheca*, 52: 1-149.
- (13) 2.º *Inventário Florestal da Região autónoma da Madeira (IFRAM), Relatório Final (2015)*. Secretaria Regional do Ambiente e dos Recursos Naturais.
- (14) Borges Silva et al. (2022) Taxonomic, structural diversity and carbon stocks in a gradient of island forests. *Scientific Reports*, 12: 1038.
- (15) Unpublished Netbiome Project data
- (16) Forfang, A.S. & Olesen, J.M. (1998) Male-biased sex ratio and promiscuous pollination in the dioecious island tree *Laurus azorica* (Lauraceae). *Plant Systematics and Evolution*, 212, 143-157.

- (17) Santos, D. & Aguiar, R. (eds.) (2006) *Clima e meteorologia dos arquipélagos atlânticos*. Projeto CLIMAAT II, 2006. Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal. 110 pp.
- (18) Sande Silva, J. (ed.) (2007) *Árvores y Florestas de Portugal. Azores y Madeira. A Florestas das Ilhas*. Público, Lisboa, 362 pp.
- (19) Prada, S. et al. (2009) Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal). *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1179-1187.
- (20) *Plano de Regional de Ordenamento Florestal da Região Autónoma da Madeira*, 2015
- (21) Figueira et al. (2013) Cloud water interception in the temperate laurel forest of Madeira. *Hydrological Sciences Journal*, 58: 152-161.
- (22) Pinto Ricardo et al. (1992) *Carta dos solos da Ilha da Madeira*. Instituto de Investigação Científica Tropical e Secretaria Regional de Economia (Madeira), Lisboa.
- (23) Pinto Ricardo et al. (2004) Quantidade e distribuição de carbono orgânico dos solos da ilha da Madeira. *Revista de Ciencias Agrarias*, 27: 24-37.
- (24) Capelo, J. (ed.) (2004) A paisagem vegetal pa Ilha da Madeira. *Quercetea*, 6: 3-200.
- (25) Oliveira, P. & Menezes, D. (2004) *Birds of the archipelago of Madeira*. Serviço de Parque Natural da Madeira, Funchal.
- (26) Jesus, J., Teixeira, S., Teixeira, D., Freitas, T., & Russo, D. (2009) Vertebrados terrestres autóctones dos Arquipélagos da Madeira e Selvagens. *Direcção Regional de Ambiente. Funchal*.
- (27) Teixeira S. & Jesus J. (2009) Echolocation calls of bats from Madeira Island: acoustic characterization and implications for surveys. *Acta Chiropterologica*, 11: 183-190.
- (28) Ferreira, D.F., Gibb, R., López-Baucells, A., Nunes, N.J., Jones, K.E., & Rocha, R. (2022) Species-specific responses to land-use change in island insectivorous bats. *Journal for Nature Conservation*, 67: 126177.
- (29) Borges et al. (2008) Os artrópodes (Arthropoda) dos arquipélagos da Madeira e das Selvagens. In: Borges et al (eds.) *Listagem dos fungos, flora e fauna terrestres dos arquipélagos da Madeira e Selvagens*. Direcção Regional do Ambiente da Madeira and Universidade dos Açores, Funchal and Angra do Heroísmo.
- (30) Cameron, R.A.D. & Cook, L.M. (2001) Madeiran Snails: Faunal Differentiation on a Small Island. *Journal of Molluscs Studies*, 67: 257-267.
- (31) Cook, L.M. (2008) Species richness in Madeiran land snails, and its causes. *Journal of Biogeography*, 35: 647 – 653.
- (32) Seddon M. B. (2008) The landsnails of Madeira. An illustrated compendium of the landsnails and slugs of the Madeiran archipelago. Studies in Biodiversity and Systematics of Terrestrial Organisms from the National Museum of Wales. *BIOTIR Reports* 2: 204 pp.
- (33) Costa Neves, H. et al. (1996) *Laurissilva da Madeira. Caracaterização quantitativa e qualitativa*. Parque Natural da Madeira, Funchal, 192 pp.



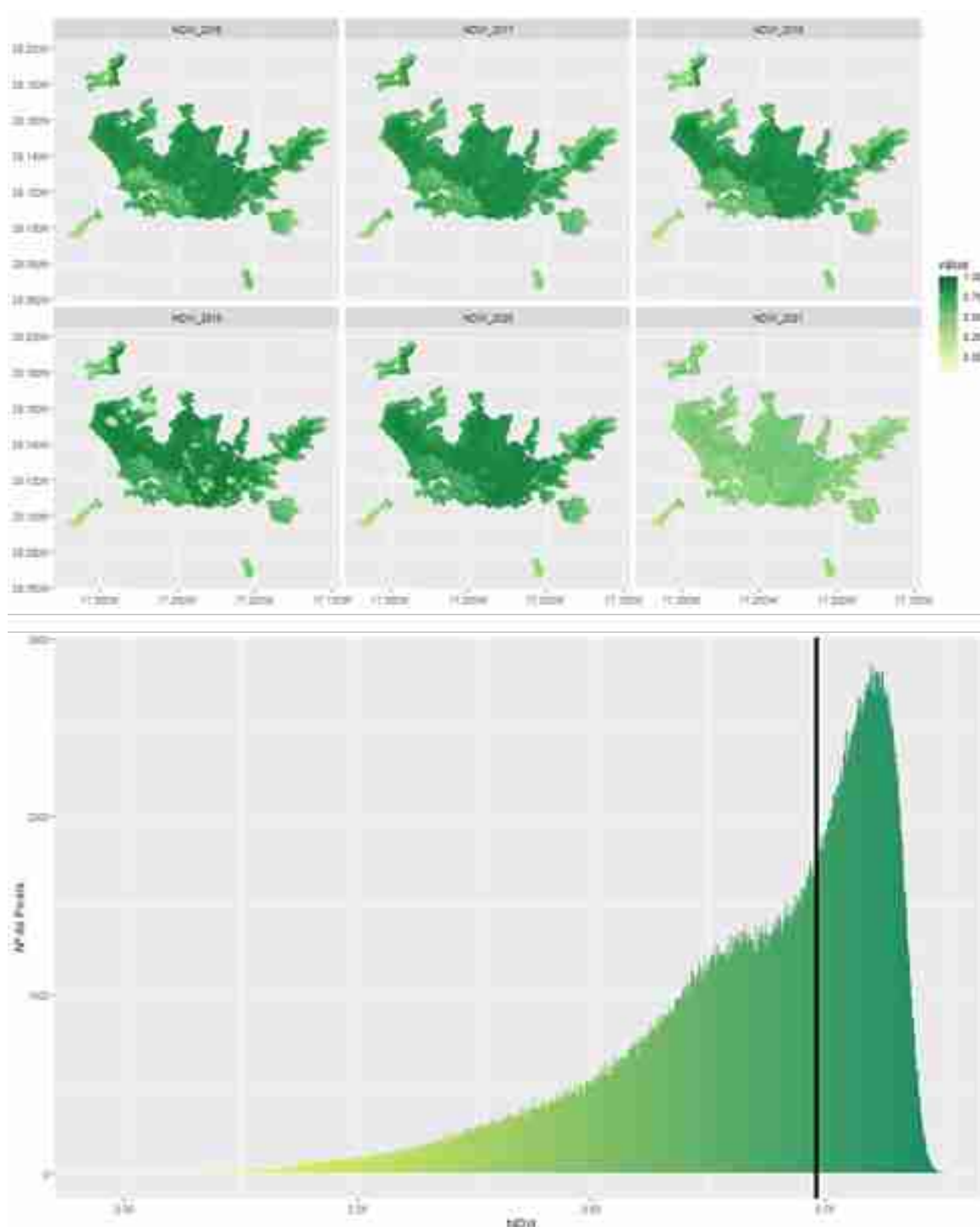
- (34) Marrero, P., Oliveira, P., & Nogales, M. (2004). Diet of the endemic Madeira Laurel Pigeon *Columba trocaz* in agricultural and forest areas: implications for conservation. *Bird Conservation International*, 14: 165-172.
- (35) Oliveira, P. (2003) *Conservation and ecology of the endemic Madeira Laurel pigeon, Columbia trocaz* (Doctoral dissertation, Manchester Metropolitan University).
- (36) Oliveira, P., Marrero, P., & Nogales, M. (2002) Diet of the endemic Madeira Laurel Pigeon and fruit resource availability: a study using microhistological analyses. *The Condor*, 104: 811-822.
- (37) Monasterio, Y. et al. (2023) *Canarian Islands endemic pollinators of the Laurel Forest zone Conservation plan 2023–2028*. European Commission.
- (38) Sim-Sim, M., Ruas, S., Fontinha, S., Hedenäs, L., Sérgio, C., & Lobo, C. (2014). Bryophyte conservation on a North Atlantic hotspot: threatened bryophytes in Madeira and Selvagens Archipelagos (Portugal). *Systematics and Biodiversity*, 12: 315-330.
- (39) Ruas, S.A. et al. (2015) The community structure of bryophytes and macrolichens in Madeira's natural forest: The effects of environmental variables and relations to old-growth forests. *Nova Hedwigia*, 100: 439– 460.
- (40) Calonge, F.D. & Menezes de Sequeira, M. (2011). *Cogumelos da Madeira*. Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais. Direcção Regional do Ambiente. 258 pp.
- (41) Elias, R.B. et al. (2016) Natural zonal vegetation of the Azores Islands: characterization and potential distribution. *Phytocoenologia*, 46: 107–123
- (42) Elias, R.B. et al. (2011) Disturbance, regeneration and the spatial pattern of tree species in Azorean mountain. *Community Ecology*, 12: 23-30.
- (43) Mesquita, S., Capelo, J., Jardim, R., Sequeira, M. (2007). Distribuição das principais manchas florestais – Madeira. In Volume 6. Coleção *Árvores e Florestas de Portugal*. Fundação Luso-Americana. Silva, J. S. (Ed). pp. 323-335.
- (44) Capelo, J., Sequeira, M., Jardim, R., Mesquita, S., (2007). Biologia e ecologia das florestas das ilhas – Madeira. In Volume 6. Coleção *Árvores e Florestas de Portugal*. Fundação Luso-Americana. Silva, J. S. (Ed). pp. 81-134.
- (45) Jardim, R., J., Sequeira, M., Capelo, J. (2007). Espécies florestais das ilhas – Madeira. In Volume 6. Coleção *Árvores e Florestas de Portugal*. Fundação Luso-Americana. Silva, J. S. (Ed). pp. 255-29

Anexo 2 El 9360 dentro de la red Natura 2000

Código lugar	Nombre lugar	Isla	Área espacial (ha)	9360 área (ha)	% 9360
ES0000044	Garajonay	La Gomera	3 785.4	2 991.83	79
ES7010002	Barranco Oscuro	Gran Canaria	33.4	12.38	37
ES7010004	Azuaje	Gran Canaria	456.3	6.16	1
ES7010005	Los Tilos de Moya	Gran Canaria	89	62.04	70
ES7010033	Jandía	Fuerteventura	14 972.5	4.5	0.03
ES7010038	Barranco de La Virgen	Gran Canaria	559.4	39.48	7
ES7020001	Mencáfete	El Hierro	454.6	36.91	8
ES7020009	Guelguén	La Palma	1 062.4	67.49	6
ES7020010	Las Nieves	La Palma	5 114.6	1 520.94	30
ES7020011	Cumbre Vieja	La Palma	7 522.1	2.63	0.03
ES7020020	Tablado	La Palma	223.6	33.55	15
ES7020024	Juan Mayor	La Palma	28.3	10.02	35
ES7020025	Barranco del Agua	La Palma	74.2	11.38	15
ES7020028	Benchijigua	La Gomera	483.2	6.23	1
ES7020030	Majona	La Gomera	1 975.7	313.34	16
ES7020033	Roque Blanco	La Gomera	29.8	8.42	28
ES7020037	Lomo del Carretón	La Gomera	248.5	1.33	0.5
ES7020044	Ijuana	Tenerife	901.8	1.52	0.1
ES7020045	Pijaral	Tenerife	295.7	90.96	31
ES7020047	Pinoleris	Tenerife	178.4	3.97	2
ES7020052	Chinyero	Tenerife	2 380	1.57	0.01
ES7020053	Las Palomas	Tenerife	582.7	68.45	12
ES7020054	Corona Forestal	Tenerife	41 067.7	517.47	1
ES7020069	Las Lagunetas	Tenerife	3 568.3	36.46	1
ES7020072	Montaña de la Breña	La Palma	26.1	19.95	76
ES7020073	Los Acantilados de la Culata	Tenerife	440.9	40.87	9
ES7020074	Los Campeches, Tigaiga y Ruiz	Tenerife	543.5	3.98	1
ES7020075	La Resbala	Tenerife	590.6	50.98	9
ES7020081	Interián	Tenerife	100.2	0.13	0.1
ES7020082	Barranco de Ruiz	Tenerife	95.3	2.5	3
ES7020084	Barlovento, Garafía, El Paso y Tijarafe	La Palma	5 561.7	327.33	6
ES7020085	El Paso y Santa Cruz de La Palma	La Palma	1 390.5	85.96	6
ES7020089	Sabinar de La Galga	La Palma	81	39.72	49
ES7020091	Monteverde de Gallegos-Franceses	La Palma	1 408.6	179.11	13
ES7020092	Monteverde de Lomo Grande	La Palma	494.9	269.5	54
ES7020093	Monteverde de Barranco Seco-Barranco del Agua	La Palma	1 939.1	653.6	34

ES7020094	Monteverde de Breña Alta	La Palma	823.2	16.73	2
ES7020095	Anaga	Tenerife	10 340.6	578.47	6
ES7020096	Teno	Tenerife	6 119.7	448.31	7
ES7020097	Teselinde-Cabecera de Vallehermoso	La Gomera	2 340.9	111.84	5
ES7020099	Frontera	El Hierro	8 807.4	751.76	9
ES7020101	Laderas de Enchereda	La Gomera	682.6	73.18	11
ES7020109	Barrancos del Cedro y Liria	La Gomera	584.18	90.07	15
PTFAI0004	Caldeira e Capelinhos	Faial	2 086.21	11.0	1
PTFAI0006	Ponta do Varadouro	Faial	17.61	8	45
PTFLO0002	Zona Central - Morro Alto	Flores	2 938.89	40.16	1
PTJOR0014	Costa NE e Ponta do Topo	São Jorge	3 965.08	8.84	0.2
PTMAD0001	Laurissilva da Madeira	Madeira	15 462	15462	100
PTMIG0024	Serra da Tronqueira / Planalto dos Graminhais	São Miguel	2 010.63	265.04	13
PTPIC0009	Montanha do Pico, Prainha e Caveiro	Pico	8 462.65	487.82	6
PTTER0017	Serra Santa Bárbara e Pico Alto	Terceira	4 730.93	498.63	11

Elaboración de un protocolo para el seguimiento espacial del hábitat 9360 (Laurisilvas macaronésicas: Laurus, Ocotea*) mediante el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y diferentes técnicas de teledetección. Elaborado por Juan José García Alvarado, con la colaboración de Esperanza Sánchez Rodríguez y José María Fernández-Palacios.



CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	90
I.1 BREVE INTRODUCCIÓN A LA TELEDETECCIÓN AMBIENTAL.....	90
I.2 OBJETIVO Y HÁBITAT OBJETO DE ESTUDIO	90
I.3 HERRAMIENTAS A EMPLEAR.....	91
I.4 BASES CARTOGRÁFICAS.....	93
2. EL ECOSISTEMA DE DATOS COPENICUS. SENTINEL-2 Y LA GENERACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN	94
2.1 COPENICUS Y SENTINEL-2.....	94
2.2 ÍNDICES DE VEGETACIÓN.....	97
3. USO DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN APLICADAS AL HÁBITAT 9360.....	99
• Caso de estudio 1: primera aproximación al cálculo del ndvi: cuantificación del estado de la masa forestal y diferentes técnicas de análisis de cambios espaciales: el caso del parque nacional de garajonay y la gomera.	99
• Caso de estudio 2: thresholding. en busca del umbral óptimo para discernir los parches constituyentes del hábitat 9360 mediante el ndvi. uso de maxss aplicación en la laurisilva gomera para series temporales: el sexenio 2016-2021 y 2018-2023.	105
• Caso de estudio 3: uso del ndvi para la detección de especies invasoras en la laurisilva. el caso del castaño (castanea sativa mill.) en la palma.	115
4. OTRAS CONSIDERACIONES.....	121
5. REFERENCIAS.....	123

I. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

I.1 Breve introducción a la teledetección ambiental

La teledetección es la disciplina técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales (Chuvieco 2008). Esta definición da cabida de forma implícita a todo el conjunto de procesos cuyo fin es la obtención de una imagen satelital, pero que engloba el pre-tratamiento de la información, su manipulación, procesado y elaboración de flujos de trabajo, hasta su post-procesamiento, parte de la cadena donde se interpreta y da sentido a toda esta información satelital y espectral obtenida. Se enmarca en lo que se conoce como **observación remota** (*Remote Sensing*) de la superficie terrestre. Esta disciplina ha sido ampliamente utilizada en el ámbito ambiental y ecológico, fundamentalmente para el seguimiento de fenómenos naturales en amplias áreas de estudio, evolución y comparativa pre- y post incendio, así como el monitoreo de la vegetación, entre otros. La enorme variedad de proveedores de información satelital, tanto libres como privados, también ha contribuido de forma sinérgica en la aplicación de estos métodos, así como en el incremento cuasi exponencial de las publicaciones científico-técnicas donde se involucran de forma directa o indirecta datos de índole satelital. Entre los proveedores libres se encuentran **Landsat** (siendo el 8 y 9 los más actuales) y sus diferentes misiones (operativas desde los años 80) y **Sentinel**, cuya constelación de satélites cubre la superficie terrestre y nutre de productos espectrales desde 2016. Paralelamente, la definición formulada para teledetección asume una interacción (de tipo energético) entre la cubierta terrestre con sus distintas formas de modelado y coberturas, y el sensor encargado de tomar la información y almacenarla de la forma correcta.

En los estudios que implican el uso de teledetección son de especial importancia la resolución tanto espacial como temporal, así como la disponibilidad de los productos espectrales, factor este último que a veces puede convertirse en una limitación. Más aún, si se trata de análisis aplicados a ecosistemas o regiones geográficas muy concretas y donde se requiere una escala de trabajo al mayor detalle posible. De la misma forma, es lógico pensar que el seguimiento de fenómenos naturales que lleven implícitos cambios espacio-temporales (ciclos fenológicos, *blooms* de productividad, incendios forestales, etc.) no sólo implica el compromiso por parte del proveedor de información satelital de una cobertura espacial amplia, sino que también es menester una amplitud temporal notable con el fin de permitir extraer conclusiones robustas, sobre todo si se van a llevar a cabo con aplicación directa en la gestión de especies, ecosistemas u administración territorial. En esta materia es, además, condición '*sine qua non*' la validación de los resultados con información directamente tomada a nivel de suelo (*ground truth data*), recursos cartográficos paralelos u otras fuentes de calibración de los resultados obtenidos tales como muestreos sistematizados o información a nivel de experto.

Por todo lo expuesto anteriormente, las Islas Canarias y cualquier otro medio insular, constituyen un auténtico desafío para este tipo de estudios, puesto que la observación satelital tiene que ser capaz de lidiar con una atmósfera que con frecuencia se ve afectada por episodios de polvo en suspensión, a lo que se une frecuentemente el acúmulo de nubosidad en las fachadas norte y noreste de las islas centrales y occidentales.

I.2 Objetivo y hábitat objeto de estudio

La presente memoria persigue el desarrollo y aplicación de una metodología replicable, reproducible y escalable para el seguimiento espacial del hábitat 9360 (Laurisilvas macaronésicas: *Laurus*, *Ocotea**). En su elaboración, se busca la cuantificación de la posible extensión o contracción espacial de este ecosiste-

ma, haciendo uso del índice de vegetación normalizado (en adelante NDVI), su diferencia entre fechas/escenas (en adelante dNDVI), además de otro conjunto de técnicas espaciales y teledetectivas que inherentemente empleen un *background* espectral. Con ello se pretende:

- Asentar las bases metodológicas basadas en la teledetección para el seguimiento espacial del hábitat 9360.
- Cuantificar y delimitar sus actuales fragmentos.
- Estudiar y evaluar el cambio espacial del mismo en un período de años concreto.

Así mismo, se ofrecerán varios ejemplos de aplicación directa en entornos insulares, todos ellos con software y productos de libre acceso, lo que añade un valor extra a la metodología expuesta. Durante el desarrollo de esta, se ofrecen definiciones y conceptos básicos del monitoreo remoto de la vegetación, a fin de facilitar la familiarización con esta tecnología.

El hábitat de estudio se trata de la Laurisilva Macaronésica (para más detalle consultar [1] y [2]), recogido con el código 9360 dentro de los hábitats de interés comunitarios. Este, a su vez, se enmarca en los hábitats Natura 2000 como bosques, concretamente bosques mediterráneos esclerófilos, de acuerdo con la jerarquía comunitaria europea. En él se hace referencia a “Bosques siempreverdes, subtropicales, húmedos, dominados por árboles de hoja lauroide (coriácea y lustrosa), propios de las Islas Canarias”. No obstante, no se incluye el hábitat 4050 [3], referente a los brezales macaronésicos endémicos, donde se incluyen las comunidades canarias de fayal-brezal, consideradas por diversos autores como seriales de degradación de la propia laurisilva macaronésica (del Arco & Rodríguez 2018) y otras formaciones de brezos o tejos presentes en las islas.

I.3 Herramientas a emplear

En este apartado se va a detallar el conjunto de herramientas geoinformáticas imprescindibles, además de otras complementarias, para llevar a cabo las operaciones espectrales y espaciales necesarias para el desarrollo de la metodología expuesta en la presente memoria. La tabla I muestra estas herramientas, así como su tipología y la función que viene a desempeñar. De forma análoga se pueden incluir alternativas para llevar a cabo las operaciones en otros entornos diferentes a un Sistema de Información Geográfica de escritorio (en adelante SIG).

Herramienta	Tipo	Utilidad
QGIS (Versión 3.26.1-Buenos Aires)	Software SIG	Manejo de las capas y geoprocesamiento
SCP Plugin (Semi-Automatic Classification Plugin)	Plugin de QGIS	Gestión de Bandas, Operaciones de pre-tratamiento, clasificación de imágenes satelitales, tratamientos post-clasificación. Generación de firmas espectrales
GRASS	Complemento de QGIS	Operaciones geográficas de gran actuación
Orfeo Tool Box (*)	Plugin de QGIS	Operaciones sobre bandas y post-procesamiento de la información derivada de la teledetección
Calculadora Ráster	Complemento de QGIS	Operaciones entre bandas, generación de índices.
Dzetsaka (*)	Plugin de QGIS	Clasificaciones supervisadas haciendo uso de técnicas de <i>Machine learning</i> .
Alternativas en R		
R	Lenguaje de Programación	
raster/terra	Librería de R	Manipulación y gestión de objetos geográficos Ráster
sf	Librería de R	Manipulación y gestión de objetos geográficos vectoriales
RSToolbox	Librería de R	Operaciones sobre bandas pre-procesamiento, post-procesamiento de la información derivada de la teledetección
caret	Librería de R	Clasificaciones supervisadas con multitud de algoritmos y opciones para su tuneado
sen2r	Librería de R	Descarga, correcciones y trabajo con bandas de Sentinel-2
ggplot2	Librería de R	Generación de gráficos científicos

Tabla 1. Software empleado en este informe y opciones alternativas. (*) Herramientas no empleadas en la metodología, pero que son complementarias en el entorno QGIS.

1.4 Bases cartográficas

La base cartográfica tomada como referencia para la elaboración de la memoria ha sido la cartografía europea de los usos del suelo *Land Use Land Cover* (en adelante LULC) (2018) [4][5], común a todos los países europeos y los territorios de ultramar franceses. Está basada en la interpretación de imágenes satélite tanto Landsat como Sentinel y trata de recoger e inventariar todas las coberturas de suelo y sus diferentes características. Esta información es descargable en formato vectorial (*geopackage*) a una resolución de 100 m, con una unidad mínima cartografiable de 25 hectáreas (García-Álvarez *et al.*, 2022) y perfectamente legible en QGIS [6]; donde además se puede filtrar posteriormente los parches de referencia correspondientes al hábitat deseado por el código 311 (*Broad-leaved forest*) (figura 1). En algunos casos pueden ser parches a una escala muy grosera, pero constituye un modo de obtener una **cartografía común y homogénea** de referencia, de libre acceso para cualquier usuario sobre un hábitat muy estrechamente correlacionado con el 9360.

De forma alternativa, si se dispone de una cartografía más detallada, puede ser una forma aconsejable de validar la metodología. Con este fin, se ha utilizado la cartografía presente en el Mapa de Vegetación de Canarias (del Arco *et al.*, 2006), la cual sirve para identificar y cuantificar los actuales restos de laurisilva de las diferentes islas de forma más precisa, así como de otras formaciones secundarias vinculadas a ella. **Este dataset es de uso exclusivo para las Islas Canarias.**

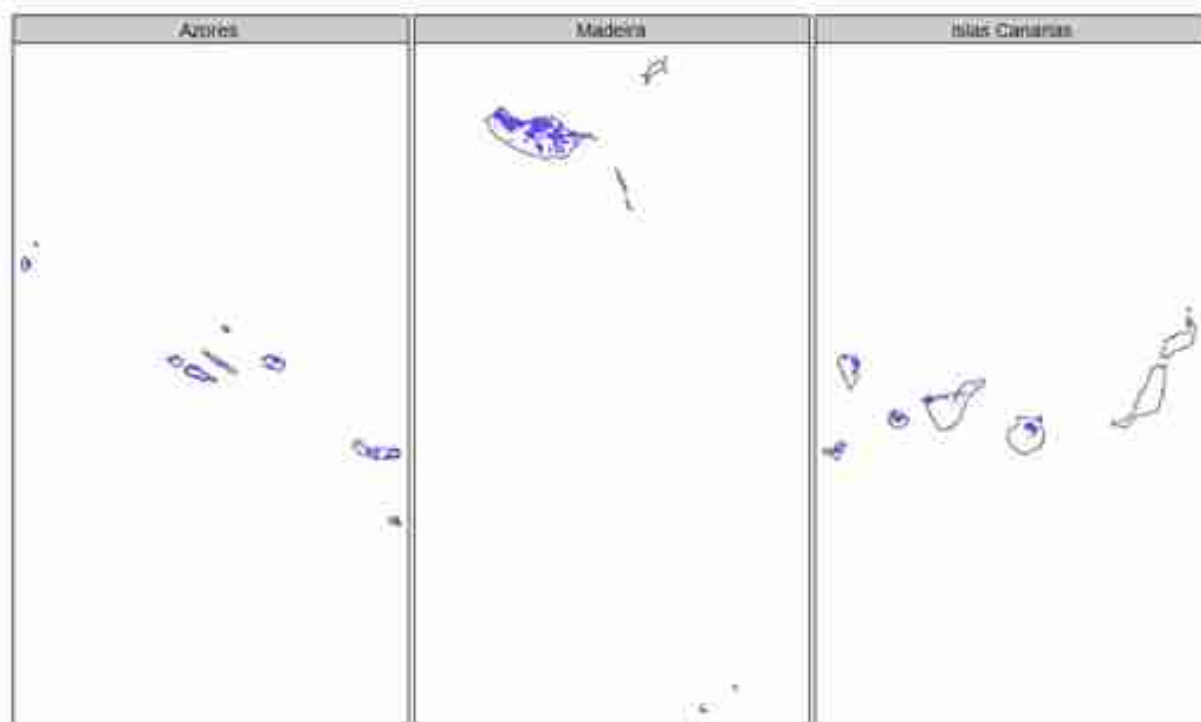


Figura 1. Ejemplo de distribución de los parches cuyo código corresponde al uso 311 (*Broad-leaved forest*) para los archipiélagos macaronésicos, ordenados latitudinalmente.

En el caso del presente documento, esta base cartográfica ha sido empleada tanto para validar los parches de vegetación utilizados, como para generar la máscara de trabajo final, permitiendo eliminar aquellos usos del suelo que pudieran causar alguna interferencia en los análisis llevados a cabo, como zonas agrícolas, pastizales u otras formaciones arbóreas no pertenecientes al hábitat de estudio.

Los criterios cartográficos empleados han sido el sistema de referencia de coordenadas WGS 84 con la proyección UTM 28N (EPSG: 32628), mientras que todas las superficies han sido cuantificadas en hectáreas y con un formato de número reales.

2. EL ECOSISTEMA DE DATOS COPERNICUS. SENTINEL-2 Y LA GENERACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN

2.1 Copernicus y sentinel-2

El programa Copernicus es una iniciativa de la Unión Europea cuya misión fundamental es la observación terrestre y la difusión de la información obtenida para cualquier usuario por medio de un ecosistema de datos abiertos. En su aspecto aplicado a la teledetección ambiental estrictamente hablando, se ha de tratar Sentinel-2 como una constelación satelital que se encarga de la captura, correcto almacenamiento y procesado de la información espectral. Está formada en la actualidad por los satélites gemelos Sentinel-2A y Sentinel-2B, sensores que orbitan con un desfase de 180° entre sí, por lo que barren el globo terráqueo desde extremos opuestos, lo que en síntesis permite tener una mayor cobertura espacial. En lo fundamental, es conveniente definir de forma somera los principales conceptos referentes a la resolución de un sensor:

- Resolución espectral: número de bandas del sensor considerando el espectro completo. Para el caso de Sentinel-2 serían doce y quedan resumidas de forma sintética en la figura 2.

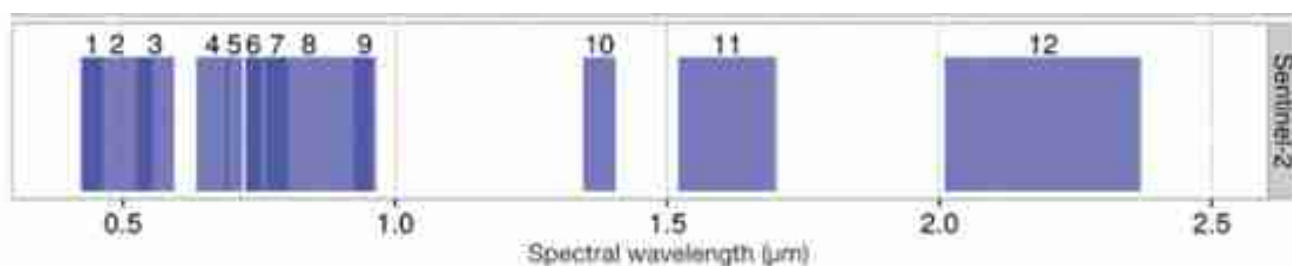


Figura 2. Longitudes de onda de cada banda y ancho de las mismas a lo largo de todo el espectro. Tomado de Leutner et al., (2016).

- Resolución espacial: tamaño del píxel o granularidad espacial de las bandas [7].
- Resolución temporal: Intervalo de tiempo transcurrido entre la captura de las escenas por parte del sensor satelital. De forma análoga, es el tiempo de revisita del satélite sobre el mismo punto o la ratio temporal teórica máxima de disponibilidad de productos.

Los productos satelitales de Copernicus pueden ser adquiridos directamente y de forma gratuita en su ecosistema de datos, el cual cuenta con un buscador de interfaz de usuario [8] que facilita este procedimiento y permite en cuestión de minutos estar operando directamente con las bandas. Previo registro, el usuario tiene la opción de descargar las imágenes que se encuentren disponibles para su región de interés (en adelante ROI, por sus siglas inglesas) de acuerdo con determinados criterios de búsqueda, pudiendo digitalizar la ROI mediante un polígono selector. Además, se puede elegir el nivel de corrección, bien sea el nivel 1 (cuyo acrónimo responde a LIC) y que hace referencia a aquellos productos sobre los que no se ha llevado a cabo ningún tipo de revisión o corrección y con un nivel de reflectancia por encima de la atmósfera (TOA), o el nivel 2 (acronimado con L2A), productos ortorrectificados y con niveles de reflectancia por debajo de la atmósfera (BOA), con una corrección atmosférica incorporada que asemeja los datos de reflectancia a la realidad.

Otros aspectos de la búsqueda son el porcentaje de cobertura nubosa y el rango temporal, el cual comprende desde 2015 hasta la actualidad (figura 3).

En el caso de los satélites de Sentinel-2, la resolución espectral acoge un total de 12 bandas: 4 bandas a 10 metros, 6 bandas a 20 metros y 2 bandas a 60 metros de resolución espacial. El tiempo de revisita es de cinco días (resolución temporal) desde 2017 que fuera lanzado el satélite Sentinel-2B. Sin embargo, en el lapso de tiempo comprendido entre 2015 y 2017 la resolución temporal es de diez días, con toda la información satelital exclusivamente derivada del satélite 2A.

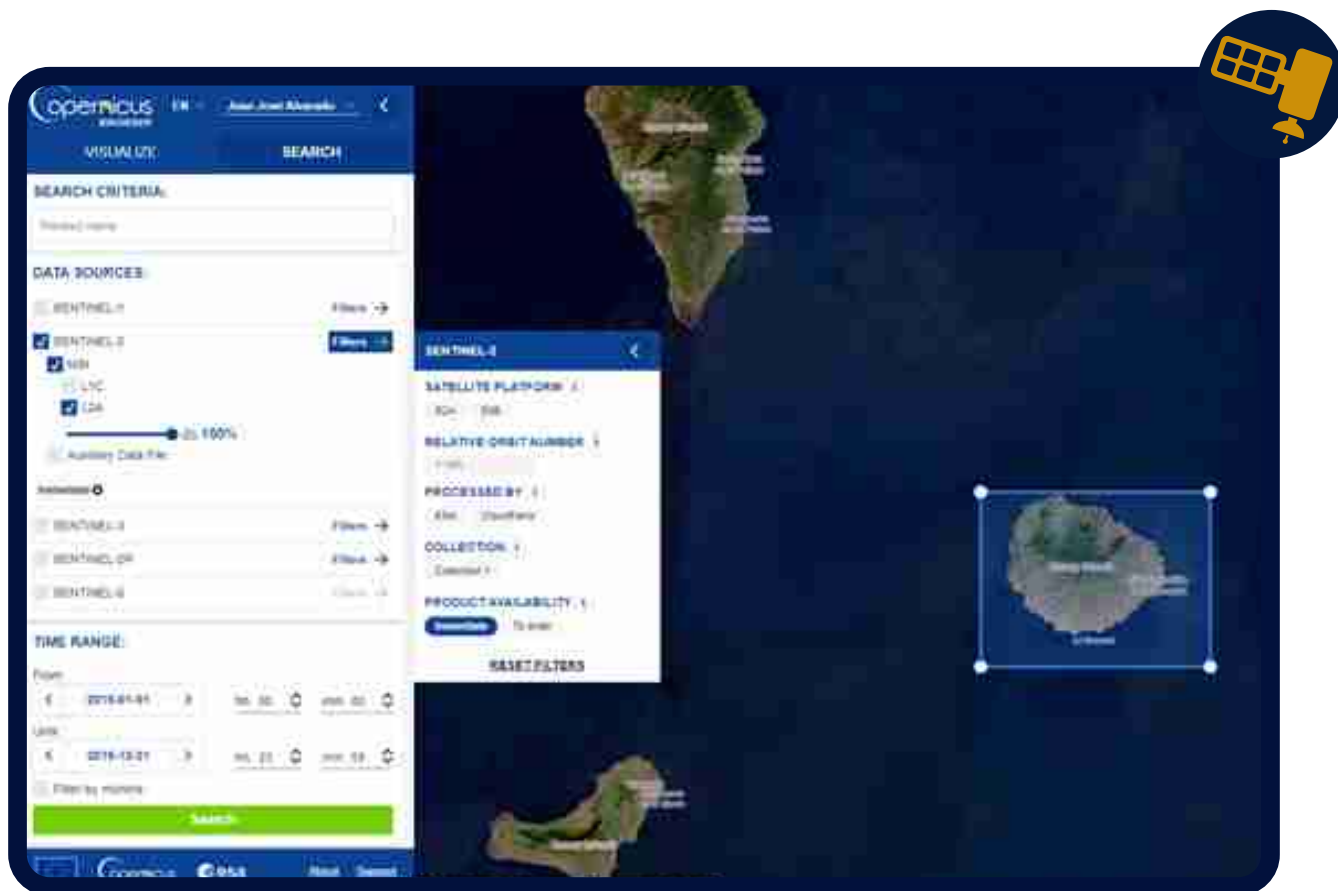


Figura 3. Interfaz de usuario para la descarga de productos Sentinel-2.

Por otro lado, el uso de los productos derivados de Sentinel-2 con el nivel de procesamiento 2A es la alternativa de uso más interesante para esta tipología de trabajos, no sólo a nivel de cobertura y resolución espectral y espacial. Este conjunto de imágenes satelitales cuenta con una corrección radiométrica y atmosférica incorporadas. Además, también gozan de una buena corrección topográfica adicional, lo que hace que no haya que recurrir a programas externos o a recursos programáticos.

• Acceso y manejo de los productos Sentinel-2

Una vez se ha procedido a la descarga desde el ecosistema de datos de Copernicus y su posterior descompresión, tendremos un fichero de extensión 'SAFE', cuya nomenclatura queda resumida de forma sintética de la siguiente manera:

- S2A_MSIL2A_20160117T115312_N0201_R123_T28RBS_20160117T115314.SAFE
- **S2A:** Satélite que ha capturado la escena, pudiendo ser S2A o su gemelo S2B.
- **MSIL2A:** MSI es el instrumento multispectral que opera a bordo del dispositivo satelital, mientras que L2A implica que el producto se encuentra con una corrección de reflectancia en superficie, radiométrica y atmosférica. Dicha corrección hace referencia a la transformación de reflectancia desde el tope de la atmósfera (TOA) hacia valores de reflectancia en superficie (BOA).
- **20160117T115312:** Fecha en formato ymd (año/mes/día) y día en horario UTC.

El resto de los fragmentos de la nomenclatura identifican momentos de validación de la imagen, órbitas relativas o cobertura territorial de la escena.

La forma de acceder a las bandas individualmente es el directorio **GRANULE/IMG_DATA**, donde se encontrarán separadas en virtud de su resolución: 10, 20 y 60 metros (figura 4), respectivamente; en formato '.jp2', perfectamente legible en el software de escritorio QGIS gracias a los drivers de GDAL [9].

Cabe la posibilidad de obtener todas las bandas disponibles a 10 metros de resolución. Este paso es redundante para el cálculo del NDVI, ya que las bandas pertenecientes al rojo (4) y al infrarrojo cercano (en adelante NIR, por sus siglas inglesas) (8) ya se encuentran a la citada resolución. La librería de R 'sen2r' (Ranghetti *et al.*, 2020) permite desescalar el resto de las bandas que se encuentran a 20 metros de resolución hacia 10 metros haciendo uso del brillo e interpolando los píxeles, gracias a la función *s2_translate*, que actúa sobre un producto corregido a nivel 2A, devolviendo un paquete ráster (*stack*) con las bandas a la resolución deseada. Este hecho puede suponer una interesante alternativa si se desea calcular otros índices de vegetación o de combinación espectral con alguna de las nuevas bandas desescaladas y a mayor detalle, como muchos índices relativos a la calcinación y efectos post-incendio forestal, que usan, por lo general, los infrarrojos de onda corta (bandas 11 y 12).

Spatial Resolution (m)	Band Number	S2A		S2B	
		Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central Wavelength (nm)	Bandwidth(nm)
10	2	492.4	66	492.1	66
	3	559.8	36	559.0	36
	4	664.6	31	664.9	31
	8	832.8	106	832.9	106
20	5	704.1	15	703.8	16
	6	740.5	15	739.1	15
	7	728.8	20	779.7	20
	8a	864.7	21	864.0	22
	11	1613.7	91	1610.4	94
	12	2202.4	175	2185.7	185
60	1	442.7	21	442.2	21
	9	945.1	20	943.2	21
	10	1373.5	31	1376.9	30

Figura 4. Disposición de las bandas de acuerdo a su resolución espacial y espectral y el satélite de Sentinel-2 de toma. Tomado de [10].

2.2 Índices de vegetación

La interpretación de la información derivada de los análisis satelitales y espectrales constituye una parte fundamental de la teledetección ambiental y la ecología espacial, así como una aplicación directa de este tipo de análisis en la conservación de la biodiversidad y los ecosistemas. Fenómenos naturales como la actividad fotosintética, el estrés hídrico o vegetativo, los episodios y pulsos fenológicos, incendios forestales, etc., son los fenómenos de estudio más habituales, mayoritariamente gracias a la aplicación de índices de vegetación. En ellos, el NIR y las bandas visibles son la principal región espectral empleada.

Entre las principales ventajas de usar este tipo de índices cabe resaltar:

- La capacidad de realzar coberturas del terreno y su separabilidad con el suelo.
- Las operaciones aritméticas entre bandas actúan normalizando las ecuaciones, por lo que también se normalizan las distorsiones causadas por la iluminación proveniente del terreno o de la cobertura nubosa, tanto intra- como inter-escenas.
- Describen medidas físicas de la superficie terrestre y de amplio uso en estudios ecológicos. Con interpretaciones directas sobre el estado de la vegetación, por ejemplo.
- Uso más que extendido en análisis ecológicos y de carácter predictivo.

Uno de los índices de uso más común y que es el hilo conductor fundamental de la presente metodología es el **NDVI**. Este índice ha sido relacionado con la cobertura vegetal, la productividad primaria o la biomasa, entre otros parámetros. Como otros tantos, usa las propiedades de reflectancia del rojo y del NIR, es decir, el contraste existente en la franja del espectro comúnmente denominado “borde rojo” (*red edge*). En lo fundamental, el recorrido espectral de una vegetación sana exhibe una alta reflectancia en el NIR y una baja reflectancia/alta absorción en el rojo, esto es clásicamente atribuido a la maquinaria fotosintética de la hoja y su actividad. A medida que la actividad fotosintética se reduce, lo hace también las diferencias de reflectividad entre el NIR y el rojo.

Gracias a la combinación aritmética de bandas, es posible obtener el valor de este índice para cada píxel de nuestra ROI, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = \text{NIR} - \text{Rojo} / \text{NIR} + \text{Rojo} \quad (1)$$

Sus valores oscilan de forma continua desde -1 a 1, con valores próximos a 1 indicando importantes diferencias en el borde rojo, por lo tanto un alto rendimiento fotosintético o verdor (*greenness*). Los valores muy próximos o inferiores a cero son áreas de cobertura vegetal muy escasa. En cuanto a su utilización, el NDVI ofrece una serie de prestaciones que incentivan su uso en detrimento de otros índices:

- Sencillez matemática y de interpretación.
- Minimiza efectos topográficos.
- Al aplicar cocientes entre bandas, se produce una normalización, que subsecuentemente reduce el efecto de la degradación de calibración del sensor y la influencia de los efectos atmosféricos.
- Los valores numéricos continuos permiten establecer umbrales (*thresholding*).

La componente comparativa del NDVI es el **dNDVI**, donde se comparan los valores del índice entre dos escenas, normalmente correspondientes a la misma época pero a distinto año, con el fin de estudiar los cambios acontecidos en el territorio con una aproximación a las diferencias de verdor.

$$\mathbf{dNDVI} = \text{NDVI}_{t_2} - \text{NDVI}_{t_1} \quad (2)$$

En la notación seguida en la ecuación 2, NDVI_{t_2} hace referencia el NDVI posterior, mientras que NDVI_{t_1} es el NDVI de la fecha anterior.

Valores positivos de dNDVI se relacionan a incrementos en la actividad fotosintética, mientras que valores negativos implican una reducción de la actividad fotosintética. Los valores cercanos a cero reflejan situaciones donde no ha habido cambios. El estudio de series temporales de dNDVI pueden ayudar a extraer conclusiones sobre si existe una tendencia clara en la reducción del NDVI y, por lo tanto, se está produciendo un declive en la masa forestal. De lo contrario, la no obtención de un patrón temporal claro podría hablar de las fluctuaciones inherentes asociables a años más lluviosos o más secos en el reverdecimiento, o la ausencia del mismo en la vegetación.

Nota importante: Es fundamental conocer la notación de las bandas para efectuar operaciones aritméticas entre rásteres. En Sentinel-2, NIR hace referencia a la banda 8, mientras que la banda 4 corresponde al rojo. De estar empleando la información de Landsat se debe recurrir a la información suministrada por el proveedor del producto para la asignación correcta de las bandas.

Por supuesto, existen otros índices de vegetación que pueden perfectamente ser utilizados en los análisis ecológicos, como el índice de vegetación mejorado (EVI) o el índice de vegetación con la corrección del suelo aplicado (MSAVI), alternativa, esta última, muy a considerar en ecosistemas donde la fracción de suelo juega un rol muy importante, como pueden ser las formaciones de pinar canario naturales y abiertos, el matorral de cumbre (Ibarrola *et al.*, 2019) o los sabinars, donde la reflectividad roja e infrarroja se ve muy condicionada por la fracción de suelo.

3. USO DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN APLICADAS AL HÁBITAT 9360

CASO DE ESTUDIO I: primera aproximación al cálculo del NDVI: cuantificación del estado de la masa forestal y diferentes técnicas de análisis de cambios espaciales: el caso del Parque Nacional de Garajonay y La Gomera.

Introducción

La laurisilva de La Gomera constituye una de las mejores representaciones de este tipo de hábitat de la región macaronésica, cuyos parches manifiestan una notable continuidad espacial, además de albergar diversa tipología de laurisilva y con un buen grado de madurez, gracias mayoritariamente a que se ubican bajo el amparo y gestión del Parque Nacional de Garajonay casi en su totalidad. Esta diversidad de ambientes va desde la clásica laurisilva húmeda de laureles y viñátigos, pasando por la laurisilva más seca de facies de barbusano, bosques de niebla, hasta la laurisilva de fondo de barranco de til. Todo ello lo convierte en uno de los mejores escenarios para probar este tipo de metodología.

Como ya se explicó en el apartado 2.1, el NDVI es uno de los índices de vegetación más empleados en estudios de índole ecológica. Puede ser utilizado como indicador de diversos aspectos funcionales del ecosistema, su productividad, estado ecofisiológico, estrés, etc.

Para este primer ejemplo, se busca en primera instancia delimitar y cuantificar haciendo uso de umbrales la extensión de los actuales fragmentos de laurisilva. Posteriormente, se va a comparar su dinámica espacio-temporal entre la primera escena de Sentinel-2 disponible para la isla de La Gomera (2016) y la última de 2024, eligiendo para ello las escenas del mes de enero. Con esto, se busca no sólo la cuantificación de su área y su delimitación, sino también conocer su estado vital actual mediante la comparativa entre escenas y fechas. Se pretende detectar los cambios espaciales y espectrales acontecidos, haciendo uso del dNDVI y de la regresión temporal entre escenas, gracias a lo cual se van a identificar las zonas de potencial pérdida y deterioro de laurisilva, de igual forma que las áreas donde la laurisilva podría estar recuperándose, habida cuenta del gran incendio acontecido en 2012.

Metodología

• Detección de cambios

La detección de cambios es una de las aplicaciones más comunes de la teledetección, con ella se busca localizar los píxeles que han manifestado alguna modificación de sus características espectrales o niveles digitales entre dos o más escenas, comúnmente correspondientes a dos (o más) fechas diferentes que interesa comparar. Es por ello una herramienta muy a tener en cuenta cuando se pretende desarrollar el seguimiento de un determinado fenómeno dinámico observable en el espacio y en el tiempo.

Para efectuar este tipo de identificaciones se pueden emplear las denominadas clasificaciones supervisadas, en las que los píxeles de cada cobertura o clase observada por el intérprete de la región de estudio se agrupan en virtud de sus características físicas, topográficas, vegetacionales, espaciales, etc. Ello implica un conocimiento previo de la región y la aplicación de diversos algoritmos propios de la clasificación, muchos basados en aprendizaje automático que requieren cierto nivel programático y suponen, a su vez, en ocasiones un alto coste computacional, así como la replicación y la validación de los resultados. Una vez obtenido el mejor algoritmo clasificador, es cuestión de usar la información espectral para cuantas áreas de interés y fechas se desee.

Otra práctica muy común es aplicar una regresión lineal entre dos imágenes o bandas correspondientes a dos fechas diferentes. Esta técnica tiene como base el traslado del modelo matemático de regresión lineal simple al espacio, en el que los niveles digitales de una imagen son dependientes de los niveles digitales de otra, cuyos valores están fuertemente asociados.

$$ND_{t2} = a + b * ND_{t1} \quad (3)$$

De acuerdo con la ecuación 3, se establece que los niveles digitales de la segunda fecha se estiman a partir de los niveles digitales de la primera fecha. Siendo a y b los coeficientes de regresión para el intercepto y la primera fecha, respectivamente. Estos valores digitales entre ambas fechas serán muy similares si no ha acontecido cambio alguno, situación caracterizada por la estabilidad en la cobertura vegetal estudiada. De no ser así, los valores estimados de la segunda fecha estarán alejados de los reales, contando con valores de residuos muy altos (píxeles discrepantes).

Para la elaboración de la máscara vectorial, se ha procedido a elegir los polígonos de LULC correspondientes al uso 311, pues constituye la única forma de aplicar una metodología común y replicable para todos los archipiélagos macaronésicos con presencia de laurisilva, además que permiten enmascarar lo máximo posible otras formaciones forestales que no son objeto de estudio. A estos parches se les ha aplicado una operación de buffer de 100 metros (algoritmo de geoprocésamiento nativo de QGIS, para que acojan la máxima variabilidad posible y la posibilidad de expansión del hábitat fruto de una posible recuperación. Esta máscara se ha guardado en shapefile (.shp) para su posterior uso en el plugin SCP de QGIS.

• Recorte de productos satelitales para la zona de estudio deseada

Productos Satelitales empleados	Proveedor
S2A_MSIL2A_20160117T115312_N0201_R123_T28RBS_20160117T115314	Sentinel-2
S2B_MSIL2A_20240110T115219_N0510_R123_T28RBS_20240110T125311	Sentinel-2

En la aplicación de este tipo de metodologías es absolutamente recomendable elaborar máscaras de trabajo. En primer lugar, para delimitar el área que se desea estudiar y de igual modo, para eliminar coberturas que puedan causar algún tipo de ruido, como cultivos, pastizales, herbazales e incluso formaciones forestales no deseadas. Además, a nivel de agilidad de procesamiento y consumo de recursos de la máquina constituye también una buena razón. Para todo ello, se aconseja emplear SCP Plugin, un complemento de QGIS que ayuda a la gestión y manipulación de las bandas de forma separada. Basta con cargar las diferentes bandas seleccionadas y cargadas al *band set* y seleccionar la opción “cortar múltiples rásters”, bien mediante un archivo vectorial en formato exclusivamente shapefile (.shp) o mediante una extensión, si se conoce la coordenada UTM superior izquierda y la inferior derecha, respectivamente.

Aquellas bandas recortadas serán añadidas al panel de capas de QGIS con el prefijo “clip_” u otro definido por el usuario y serán almacenadas en el directorio seleccionado correspondiente. Este complemento nos permite, además, organizar la salida ráster mediante un *stack* o paquete de bandas apiladas. La figura 5 recoge todos estos primeros pasos.

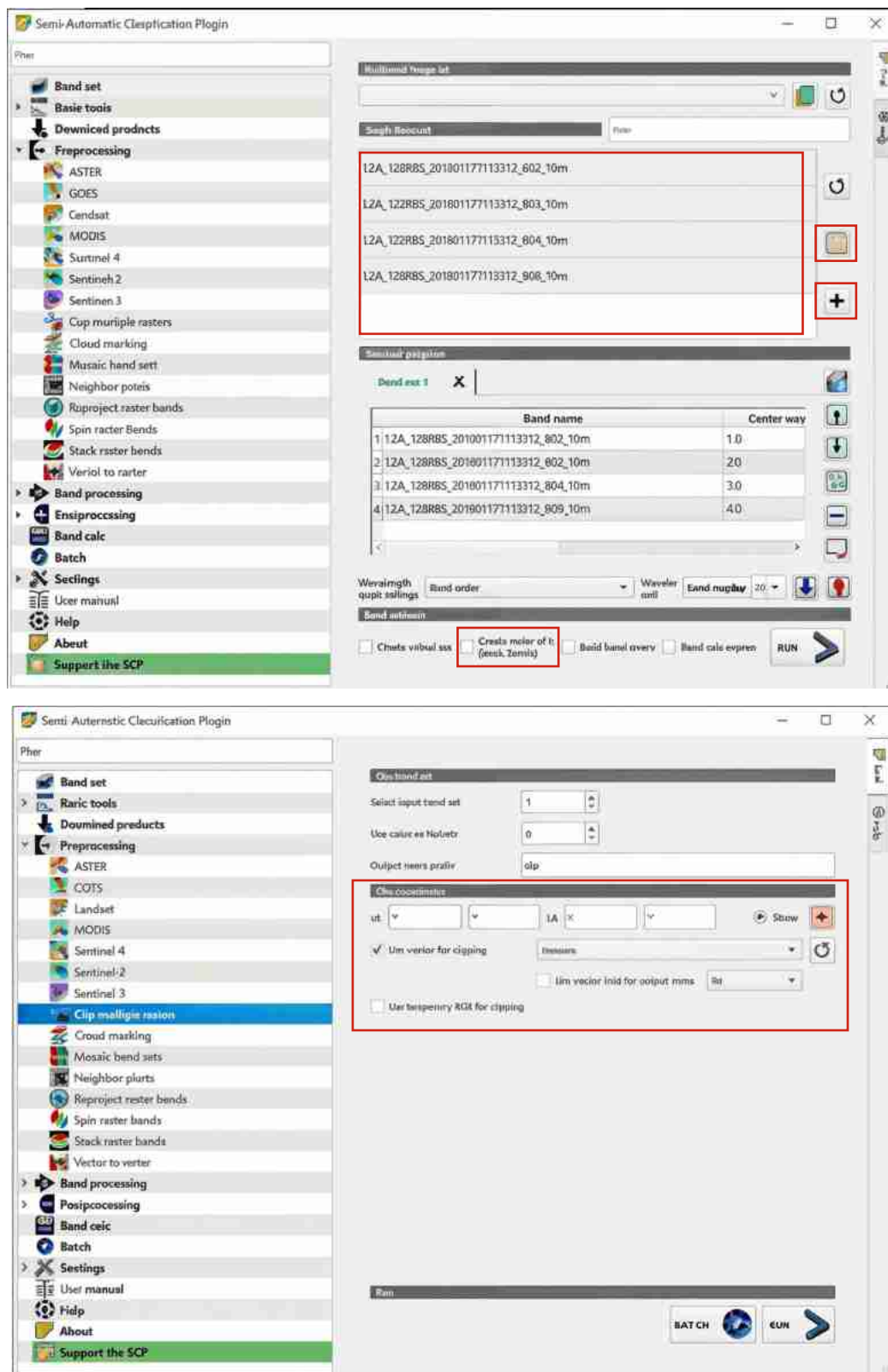


Figura 5. Interfaz de usuario de SCP Plugin. Los rectángulos en rojo indican las diferentes opciones descritas en la metodología

Al disponer de las bandas debidamente ajustadas al área de estudio, se procede a efectuar el cálculo mediante álgebra de mapas, haciendo uso de la calculadora ráster siguiendo la siguiente expresión:

$$\text{NDVI}_{2016} = \frac{(\text{clip_L2A_T28RBS_20160117T115312_B08_10m@1} - \text{clip_L2A_T28RBS_20160117T115312_B04_10m@1})}{(\text{clip_L2A_T28RBS_20160117T115312_B08_10m@1} + \text{clip_L2A_T28RBS_20160117T115312_B04_10m@1})}$$

El resultado de la anterior expresión es un ráster continuo de valores de NDVI (figura 6). En él se puede observar cómo exclusivamente dentro de la máscara de estudio generada, el valor de NDVI no es homogéneo, coincidiendo los mayores valores del índice con el ámbito territorial del Parque Nacional de Garajonay, y las otras dos localidades donde actualmente existen unas muestras representativas de laurisilva en La Gomera: la dorsal de Vallehermoso, al noroeste, y el Parque Natural de Majona, al este de la isla.

Paralelamente, en la figura 7, se puede observar que la isla completa de La Gomera mostraría una distribución bimodal en sus valores de NDVI, siendo más frecuentes los valores inferiores a 0,5, los cuales se enmarcan en la primera moda de la distribución. La segunda moda acogería los valores más altos de NDVI, que solapan directamente con el histograma de la zona delimitada para este estudio, el cual contaría con una distribución de valores notablemente sesgada hacia la cola derecha de la distribución, donde la aparición de valores altos de NDVI es muy conspicua, quedando en un lugar residual las regiones cuyo valor de NDVI es inferior a 0,5. En esta última región de la distribución es donde se localizan las formaciones secundarias (jarales, retamonares) y seriales de degradación de la laurisilva como el fayal-brezal, así como en la zona afectada por el incendio acontecido en 2012.

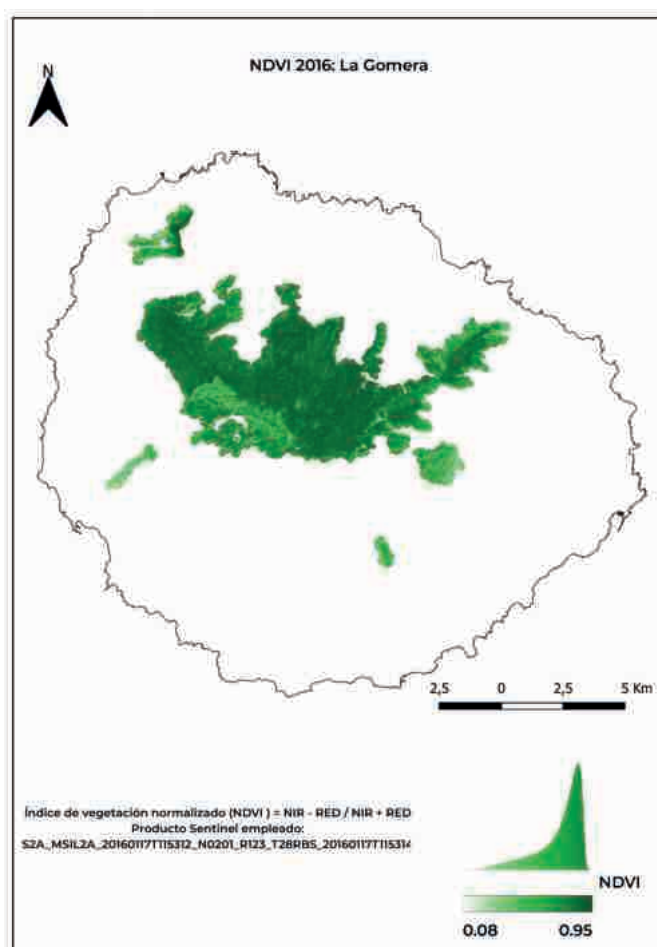


Figura 6. NDVI calculado para el área de estudio sobre los datos de enero de 2016.

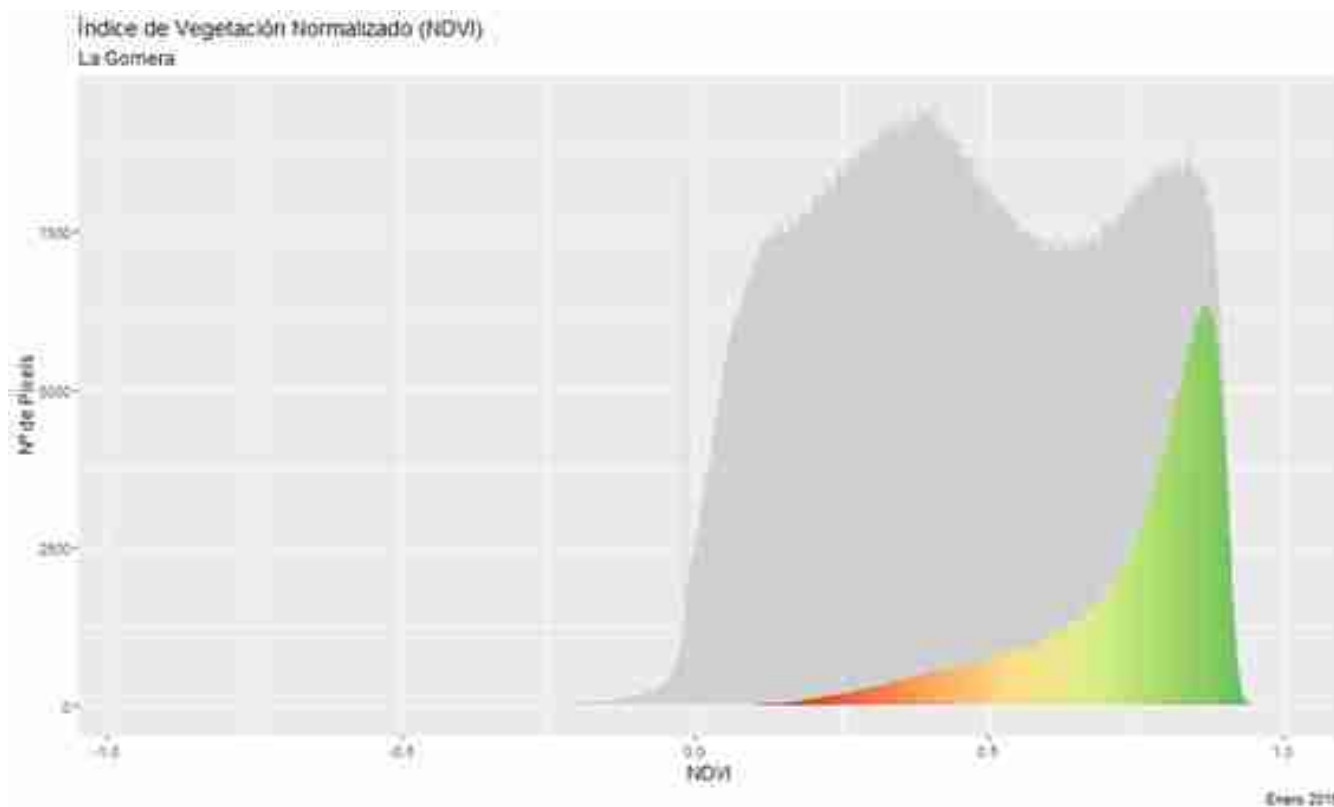


Figura 7. Representación de los valores de NDVI del área de estudio seleccionada, representada gradualmente mediante una rampa de tonalidades cálidas para los valores más bajos hacia tonalidades verdes en los lugares donde se alcanza el máximo del índice; en contraposición se encuentra el histograma completo de valores de NDVI de la extensión total de La Gomera, emplazado en tonalidades grises en el *background* del gráfico. En el eje de las x se muestran los valores de NDVI, comprendidos de -1 a 1, mientras que en el eje y representa la frecuencia de aparición de dichos valores haciendo uso del conteo de píxeles. El total de píxeles 100 m² analizados en La Gomera asciende a 3679269 (36792,69 hectáreas), mientras que el área de estudio cuenta con 629996 píxeles (6299,96 hectáreas).

• Detección de cambios: dNDVI y regresión lineal entre escenas

El estudio de las diferencias en la cobertura de los distintos rangos de las rupturas naturales supone una primera aproximación a la estimación espacial de cambios en el índice espectral. Con la incorporación del dNDVI y la regresión lineal entre imágenes se busca la identificación de las zonas donde se esté produciendo alguna modificación en el estado de conservación del hábitat. El dNDVI es el resultado de sustraer el NDVI más antiguo considerado al más reciente, haciendo uso de álgebra de mapas con la calculadora ráster.

Si se estudia pormenorizadamente el dNDVI (figura 8), los tonos anaranjados y amarillos serían las zonas que se han mantenido estables, que son los píxeles mayoritarios en el sector central (aparecen con más frecuencia en el histograma incorporado), aunque con cierto sesgo hacia valores negativos. Los tonos naranja más oscuros y rojos hacen referencia a las zonas donde la diferencia de NDVI es muy acusada y, por lo tanto, el NDVI ha ido decreciendo su valor. Sería en aquellos lugares donde habría que complementar con trabajo de campo y estudiar las causas y la forma en que este hecho se estaría manifestando en el ecosistema. Los tonos azulados, que suponen el aumento del NDVI, son minoritarios, y están casi todos en el área afectada por el incendio de 2012, lo que implicaría que la laurisilva se estaría recuperando.

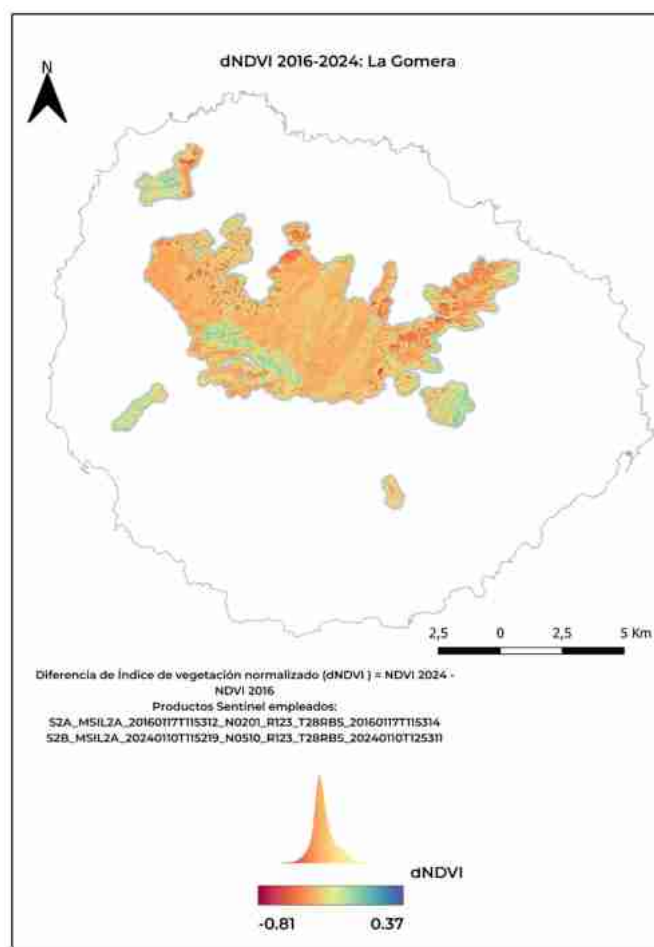


Figura 8. Diferencia en el índice de vegetación normalizado entre 2024 y 2016.

La otra técnica para analizar los cambios temporales es mediante la regresión lineal entre imágenes. A ser posible, entre escenas capturadas en la misma época del año, aislando así cualquier efecto de sombra topográfica. Para este procedimiento, ya tratado en la metodología en su ámbito teórico, se emplea el algoritmo 'r.regression.multi' de GRASS [11] en el entorno QGIS, usando el NDVI de 2024 como coeficiente y (variable a predecir) y el NDVI de 2016 como variable independiente (coeficiente x). La salida son dos ficheros ráster con los valores predichos y los residuos, así como un archivo de texto con los diferentes valores de la regresión (figura 9).

$$\text{Residuos} = \text{Observados} - \text{Predichos} \quad (4)$$

Los valores predichos (figura 9 izquierda) son la fracción de píxeles de 2024 combinación lineal de los valores de NDVI de los píxeles de 2016. Por lo tanto, son una estimación del NDVI en 2024 atendiendo exclusivamente a una relación lineal entre los valores para dicho año y los valores del índice en 2016. Esta superficie continua de valores predichos se encuentra aislada de las posibles interferencias fruto de la sequía, de la recuperación post-incendio o de cualquier interferencia que no se refleje en los valores de 2016.

Por otro lado, los residuos (obtenidos por medio de la ecuación 4) (figura 9 derecha), suponen la fracción de la regresión que indica la discordancia entre escenas. Residuales bajos (en torno a 0) son los lugares donde ha predominado la estabilidad, es decir, los valores observados de NDVI en 2024 y los predichos en función de los valores de 2016 son similares o cuentan con un buen ajuste lineal entre escenas, por lo tanto, se pueden interpretar como regiones donde la masa boscosa habría sido menos alterada o estaría sufriendo un menor rigor derivado de los efectos de la sequía. Los residuales positivos y

negativos implican modificaciones espectrales notables entre escenas. Se trata de un indicador de lectura bidireccional, esto es, los residuales excesivamente negativos indican un detrimento en las condiciones del hábitat estudiado, regiones del bosque que habrían sido sometidas a un estrés hídrico importante y se relacionan con valores negativos de dNDVI, por el lado contrario, los residuos de mayor valor están asociados a un incremento en la favorabilidad del NDVI y están estrechamente correlacionados con valores altos de dNDVI. Estos píxeles se concentran en el sector suroccidental mayoritariamente, coincidiendo con el área afectada por el incendio forestal de 2012, en proceso incipiente y natural de recuperación

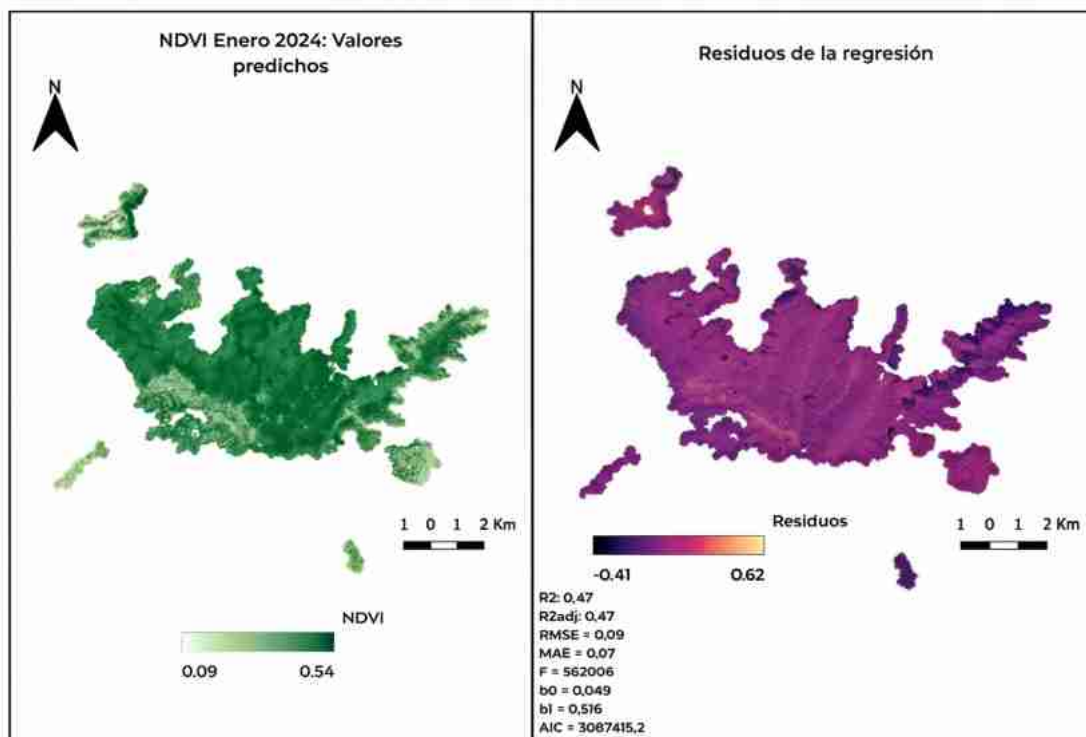


Figura 9. (Izq) Valores predichos de la regresión lineal. (Der.) Residuales de la regresión. R^2 = Coeficiente de determinación R^2 ; R^2_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado; RMSE = Error medio cuadrático; MAE = Error medio absoluto; F = Estadístico F; b_0 = coeficiente de regresión del intercepto; b_1 = coeficiente de regresión del NDVI 2016; AIC = Akaike Information Criterion.

CASO DE ESTUDIO 2: *thresholding*. en busca del umbral óptimo para discernir los parches constituyentes del hábitat 9360 mediante el ndvi. uso de maxsss aplicación en la laurisilva gomera para series temporales: el sexenio 2016-2021 y 2018-2023

La delimitación y cuantificación de los parches del hábitat 9360 es uno de los objetivos fundamentales de esta metodología. Para este fin se va a emplear una umbralización del NDVI procedimiento conocido como *thresholding*, que permite convertir la superficie continua del índice o de la probabilidad de un fenómeno, en un mapa binario de existencia o no existencia del fenómeno considerado. Con este fin se va a hacer uso de un umbral conocido como maxSSS aplicado a series temporales sexenales, puesto que es el período de trabajo que contempla el Plan de Acción. Con ello se busca también mitigar los efectos que la estacionalidad, la sequía y otros factores pueden ocasionar en la dinámica de los valores del NDVI, trabajando con series de datos lo más amplias posibles.

Una vez se obtienen las superficies ráster con la información de las regiones que constituyen o no el hábitat de estudio, se puede recurrir tanto al cómputo de las superficies de cada una por separado como a la identificación de zonas de pérdida, ganancia y estabilidad del hábitat.

Las series temporales se definen en el ámbito de la teledetección como una colección de observaciones repetidas de una región específica, cuyos datos de revisita dependen directamente de la resolución temporal del sensor (Verbesselt *et al.*, 2016). Para su estudio, la metodología seguida aglutina todos los pasos recogidos en los casos 1 y 2, con la excepción de que se va a aplicar sobre períodos temporales de NDVI, primero para la serie comprendida entre 2016-2019 (4 años) y más tarde para la comprendida entre 2020-2023 (4 años). Siempre se va a estudiar el mes de enero, por la disponibilidad de productos Sentinel-2 y por seguir el hilo coherente que se viene desarrollando.

Fundamentalmente, la única variación en referencia a los primeros casos de estudio es que se va a trabajar con el valor promedio de NDVI de la serie sexenal 2016-2021 y de la serie 2018-2023, en lugar de hacerlo con fechas individuales, procediéndose de forma análoga al proceso de umbralización y a la posterior producción de la cartografía.

Este procedimiento es recomendable para estudios que conllevan evaluaciones con una periodicidad fija establecida y ante fenómenos de marcada estacionalidad. Es mucho menos sensible a episodios anómalos, esto es, años extraordinariamente húmedos o secos, hecho inherente a un ecosistema tan heterogéneo como es la laurisilva y que afecta inevitablemente a la estabilidad del NDVI y por ende, a las conclusiones que de su uso se puedan extraer (Caparrós-Santiago *et al.*, 2023). A su vez, permite observar tendencias y así ofrecer una mayor robustez numérica al proceso.

Una vez calculado individualmente el NDVI para cada año que formará parte del período de estudio, procediendo de forma análoga a lo expresado en el primer caso de estudio, el ráster promedio consiste en hallar la media aritmética entre los rásteres que forman dicho período, gracias a la aplicación de álgebra de mapas (figura 10).



Figura 10. Cálculo del NDVI promedio para el sexenio 2016-2021.

•maxSSS

Para la definición del maxSSS, es necesario recurrir en primer lugar a unos conceptos clásicos de ecología espacial o de modelos de distribución de especies que se encuentran ensamblados en este apartado (Fletcher & Fortin 2019):

- **Errores de omisión:** Ratio de falsos positivos. Dicho de otro modo, valores predichos como presencia pero que realmente son ausencias.
- **Errores de comisión:** Ratio de falsos negativos. Caso antagónico de los errores de omisión, valores predichos como ausencias pero constituyen verdaderas presencias.
- **Sensibilidad:** Ratio de verdaderos positivos.
- **Especificidad:** Ratio de verdaderos negativos
- **True Skill Statistic (TSS):** Sensibilidad + Especificidad – 1. Esta clásica métrica de discriminación ya lleva incorporada la suma de la sensibilidad y la especificidad, por lo que en literatura es común sinonimizar maxSSS y maxTSS.

Uno de los aspectos principales de esta metodología es que es necesario contar con polígonos pertenecientes a parches de laurisilva actual bien consolidada, que supondrán la fracción de verdaderos positivos, de forma análoga se necesitan polígonos que no correspondan a laurisilva, que constituirán la porción verdaderos negativos. Todo ello servirá para construir un archivo ráster binario de laurisilva/no laurisilva, donde el valor 1 se asignará a los píxeles con laurisilva y el valor 0 a los no pertenecientes a ella. Además de esto, emplearemos el NDVI anteriormente calculado.

En lo fundamental, se usará como umbral el valor de NDVI que maximiza la suma de la especificidad y la sensibilidad (en adelante maxSSS), o dicho de otro modo, que maximiza el TSS. Se trata del valor numérico que tiene la capacidad de acoger y equilibrar mejor los valores de NDVI que constituyen hábitat 9360 y de discriminar aquellos píxeles que no entran a formar parte del hábitat. Por lo tanto, se erige como el valor que mejor balancea y minimiza tanto los errores de omisión como los de comisión.

Sobre el ráster binario y de NDVI se generará una serie de puntos aleatorios que recogerán los valores de NDVI y de presencia/ausencia de laurisilva (0 ó 1), conformando un *dataframe* de valores predichos y observados, respectivamente. Sobre ellos se aplicará la función de optimización de umbrales basados en especificidad y sensibilidad, que devolverá un valor numérico atribuible al maxSSS. Este proceso se repetirá de forma iterativa 10 veces, siendo el valor promedio el umbral utilizado para reclasificar el NDVI promediado y el ráster binario que separa la laurisilva de la vegetación que no lo es. El flujo de trabajo completo para llegar a conocer el maxSSS queda expuesto sintéticamente en la figura 11.

Son necesarias varias librerías de R como ‘raster’ (Hijmans 2023), ‘modEvA’ (Barbosa et al., 2013), ‘dismo’ (Hijmans et al., 2023) y ‘ggplot2’ (Wickham 2016).

Con el fin de facilitar esta metodología y hacer reproducible el flujo del trabajo, se incorpora a la presente memoria el **script de R ndvi_maxSSS.R**. Donde se llevan a cabo todos los cálculos, con independiencia del período considerado, las condiciones de estrés hídrico que en éste han imperado, etc. Por lo que ya se considera la posible prevalencia de años secos y la susceptibilidad del NDVI ante ellos

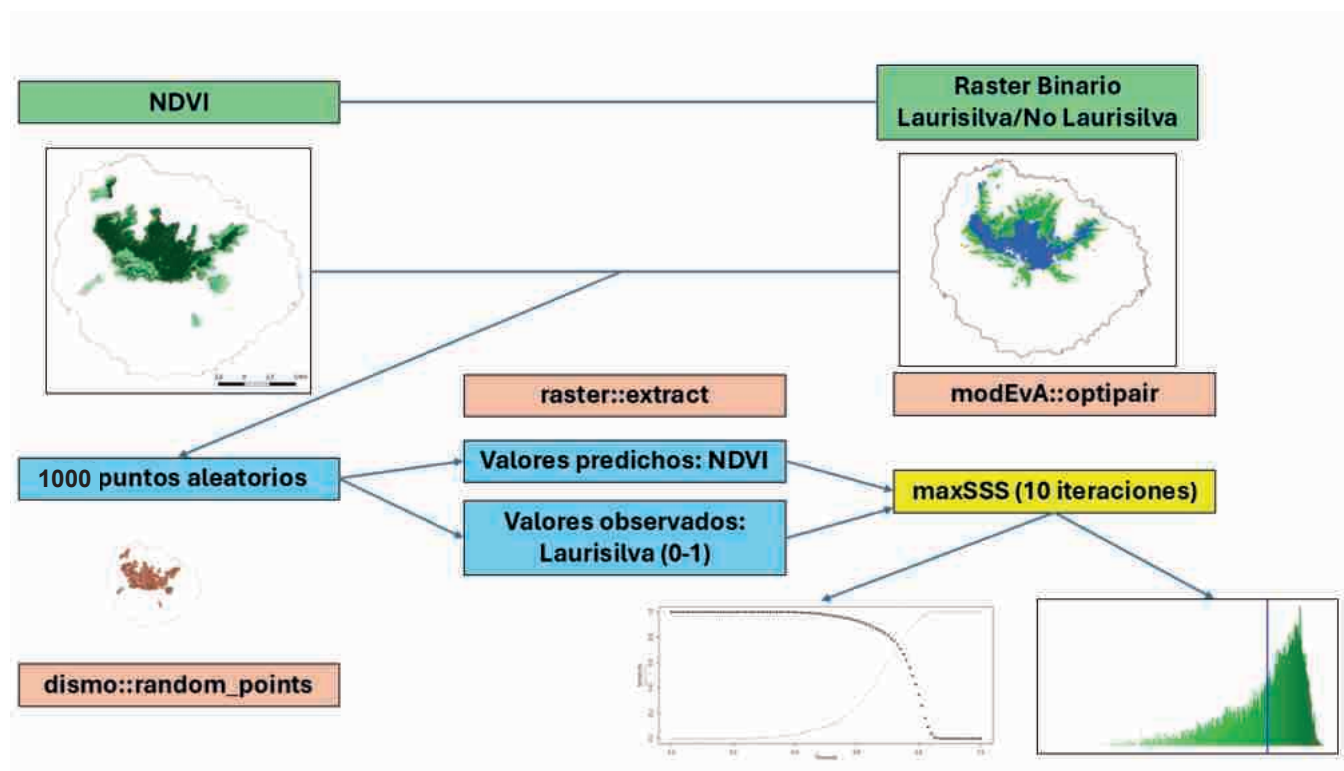


Figura 11. Flujo de trabajo llevado a cabo para la obtención del umbral maxSSS. En verde, los archivos rásteres de origen y que suponen los archivos de entrada del procedimiento. En azul, los archivos en formato vectorial que constituyen los puntos con valores de NDVI y de presencia/ausencia de Hábitat 9360. En color salmón las funciones de las librerías de R correspondientes. En amarillo finalmente, el umbral reclasificador del NDVI.

Como resultado del flujo de trabajo previamente detallado, se obtiene un valor promediado sobre 10 iteraciones de NDVI, que constituye el umbral de corte que separará laurisilva del resto de hábitats de la zona de estudio en los dos períodos sexenales considerados (tabla 2). Este valor umbral se adapta a la distribución de valores del NDVI del período considerado y a la distribución de los parches de laurisilva previos, por lo que muestra una sensibilidad baja a las oscilaciones estacionales o a la irregularidad de las condiciones de humedad. Además, minimiza los errores de asignación (maximizando el TSS).

Sexenio	Umbral (10 iteraciones)
2016-2021	0.741 ± 0.01
2018-2023	0.691 ± 0.01

Tabla 2. Valor de maxSSS correspondiente a cada sexenio considerado acompañado de su desviación.

Productos Satelitales empleados	Proveedor
S2A_MSIL2A_20160117T115312_N0201_R123_T28RBS_20160117T115314	Sentinel-2
S2A_MSIL2A_20170101T115212_N0204_R123_T28RBS_20170101T115212	Sentinel-2
S2B_MSIL2A_20180121T115209_N9999_R123_T28RBS_20221107T125726	Sentinel-2
S2B_MSIL2A_20190116T115219_N0211_R123_T28RBS_20190116T141038	Sentinel-2
S2A_MSIL2A_20200116T115211_N0213_R123_T28RBS_20200116T125318	Sentinel-2
S2A_MSIL2A_20210130T115221_N0500_R123_T28RBS_20230522T093800	Sentinel-2
S2A_MSIL2A_20220115T115221_N0301_R123_T28RBS_20220115T141122	Sentinel-2
S2B_MSIL2A_20230105T115219_N0509_R123_T28RBS_20230105T135146	Sentinel-2
S2B_MSIL2A_20240110T115219_N0510_R123_T28RBS_20240110T125311	Sentinel-2

La figura 12 muestra los histogramas de valores ráster de cada sexenio de NDVI considerados en este apartado, así como los umbrales calculados anteriormente para cada uno de ellos. A grandes rasgos, se trata de distribuciones sesgadas hacia la derecha, las regiones de NDVI donde se da el mayor acúmulo de celdas coinciden con los valores más altos de dicho índice para el área de estudio considerada. En términos del valor que umbraliza ambas distribuciones, es ligeramente superior el valor para el sexenio 2016-2021 que para el sexenio 2018-2023, de igual forma que el valor máximo de NDVI (0,88 y 0,86, respectivamente) y la mediana (0,71 y 0,66), indicador más robusto a emplear en distribuciones con un evidente sesgo hacia una de las colas de la distribución y que también ha sido sugerido en la literatura como valor umbral en muchas ocasiones. Para esta situación, de emplearse la mediana se incrementaría de forma notable la ratio de falsos positivos, esto es, píxeles sin hábitat 9360 que el proceso de umbralización asignaría como tal.



Destaca la formación incipiente de una moda en valores intermedios de NDVI en el segundo sexenio, sobre todo con valores en torno a 0,6, coincidente con la recuperación de zona incendiada, pero sin llegar aún a integrarse en la matriz forestal, ni por el momento en la laurisilva, al encontrarse por debajo del umbral de corte.

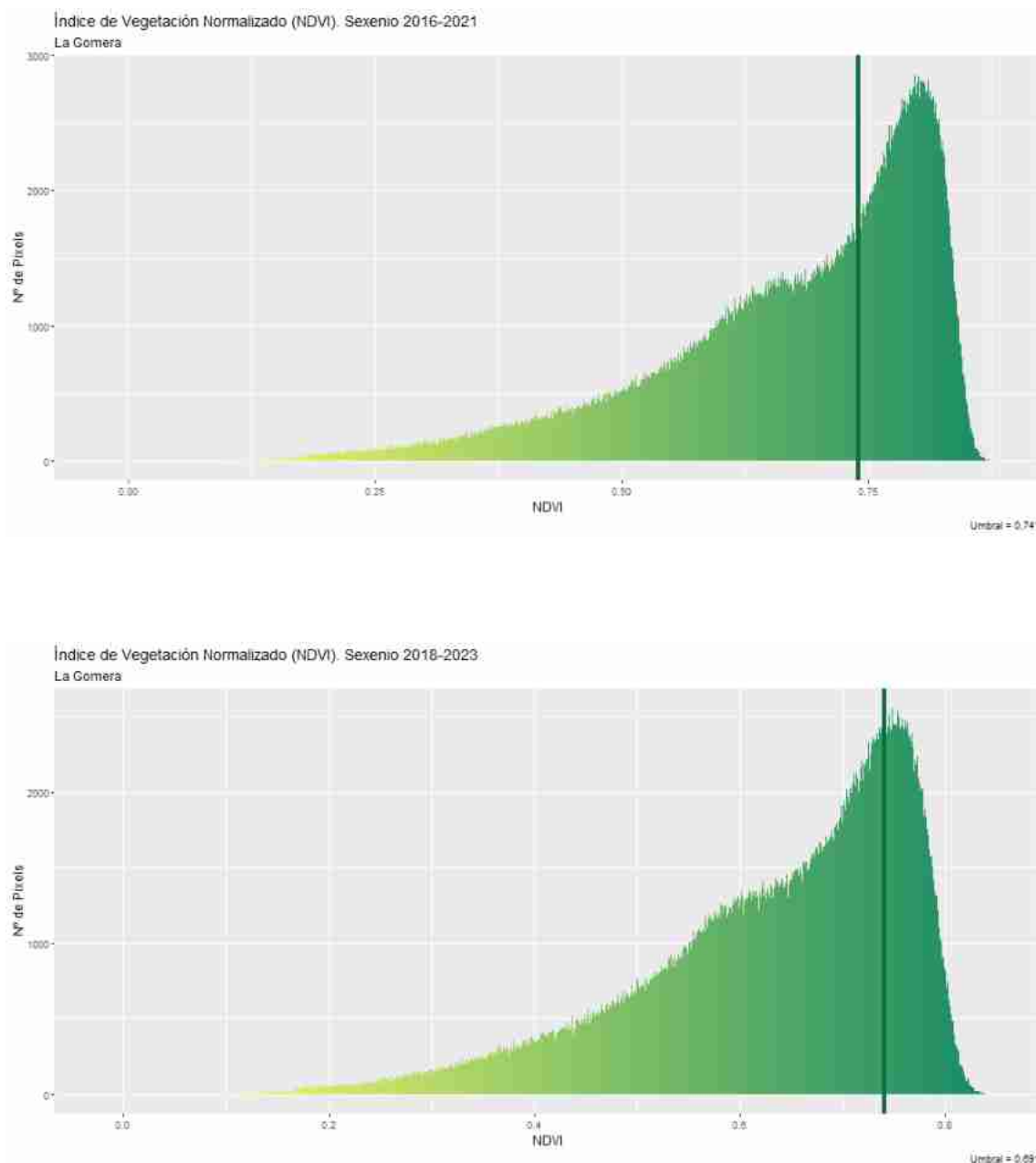


Figura 12. Histogramas de NDVI para el sexenio 2016-2021 (gráfico superior) y para el sexenio 2018-2023 (gráfico inferior). La asíntota vertical verde indica el valor del umbral sobre la distribución de valores de NDVI. En el eje de las x se muestran los valores de NDVI, comprendidos de -1 a 1, mientras que en el eje y representa la frecuencia de aparición de dichos valores haciendo uso del conteo de pixels.

Este valor umbral será empleado sobre los rasters promediados de NDVI mediante una reclasificación efectuada con la calculadora ráster y álgebra de mapas (figura 13), gracias a lo cual se obtendrá un ráster binario cuyo valor 1 representará el hábitat de interés, mientras que los píxeles valorados con 0 serán aquellas celdillas consideradas como no constituyentes del hábitat (figura 14)

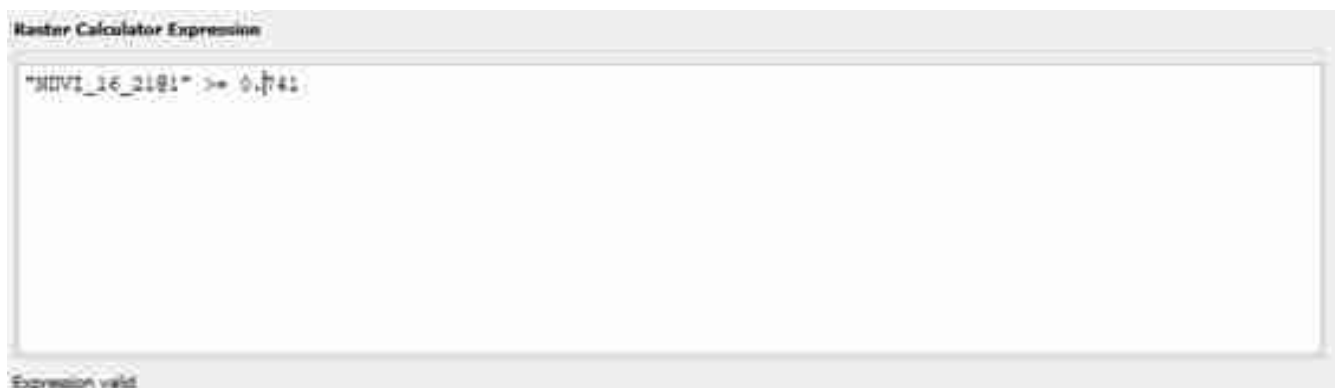
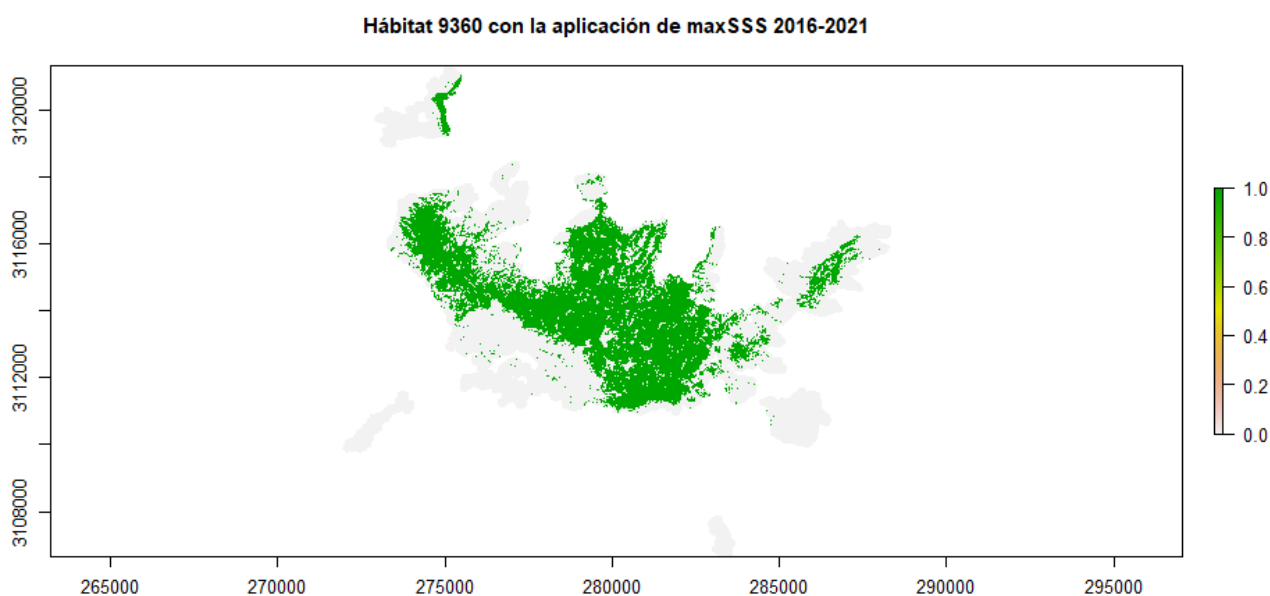


Figura 13. Reclasificación del ráster promediado de NDVI a partir del umbral maxSSS obtenido anteriormente.



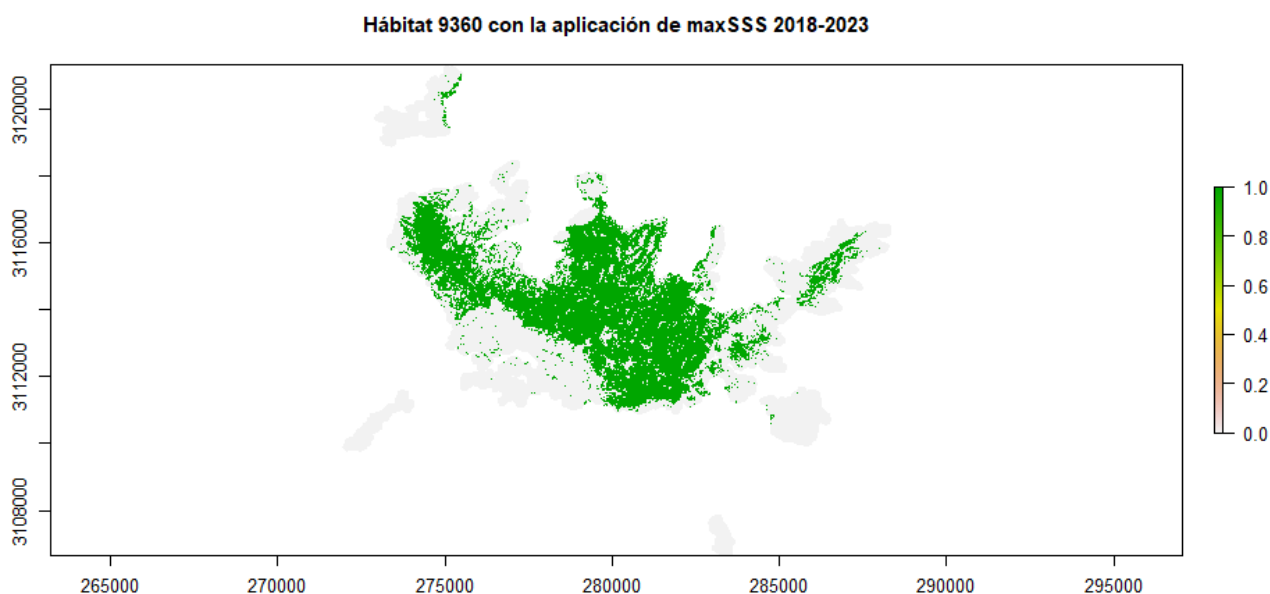


Figura 14. Mapas binarios de Hábitat 9360 tras la aplicación del maxSSS sobre el NDVI de cada serie temporal.

Cómputo de estadísticas desde un ráster binario.

El algoritmo nativo de QGIS '*raster layer unique values report*' devuelve una tabla resumen con el número de píxeles (figura 15) y la correspondiente área en m² de cada una de las dos clases binarias con las que se viene trabajando hasta ahora: hábitat 9360 y las áreas excluidas del mismo. El único *input* requerido por la operación de geoprocesamiento es un ráster categórico para el hábitat de interés, como el que ha sido generado previamente durante el proceso de *thresholding*. Supone una alternativa eficiente y de suma utilidad para el cálculo de áreas y superficies de cambio, evitando costosas conversiones a puntos o a polígonos. La tabla 3 muestra los cómputos de superficie para las clases binarias y los períodos de NDVI considerados.

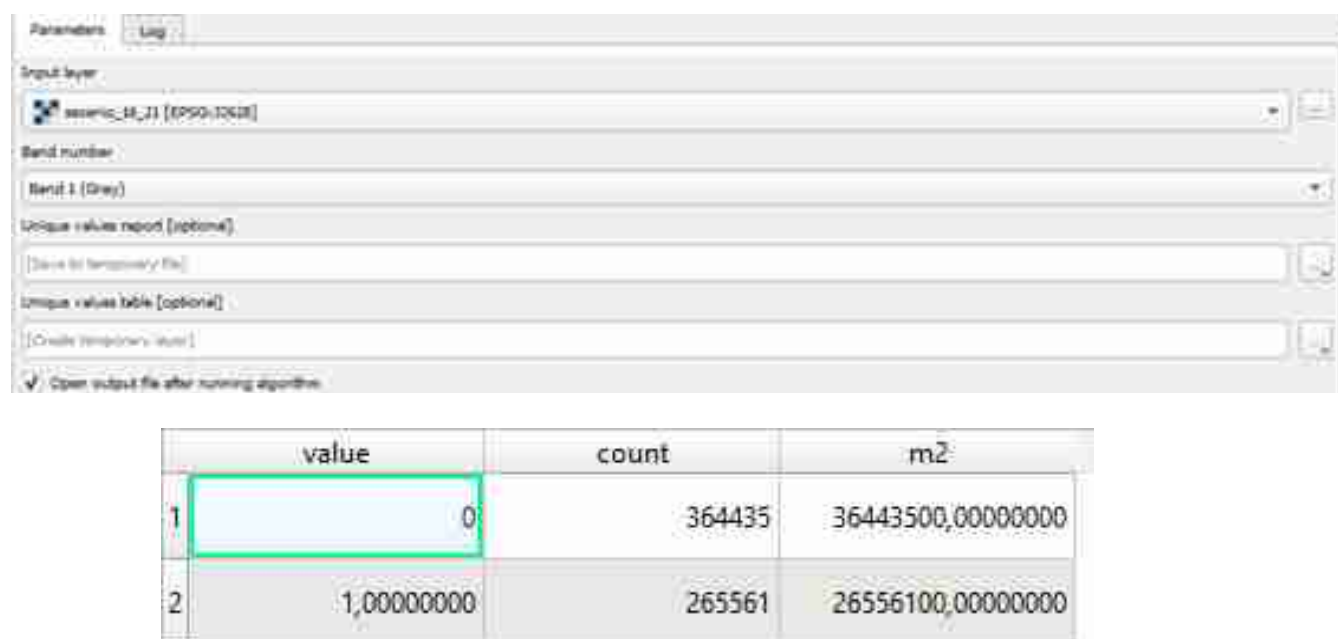


Figura 15. Aplicación y salida del algoritmo 'raster layer unique values'.

Período NDVI	Laurisilva (Ha)	Otros hábitats (Ha)
2016-2021	2655.6	3644.4
2018-2023	2612.3	3687.7

• Análisis de la estabilidad espacial de la laurisilva en la comparativa de los dos sexenios

Este último apartado sigue enmarcado en el seguimiento espacial del hábitat 9360, pero aplicado a la comparación de ambos sexenios de forma conjunta. En síntesis, persigue la delimitación espacial y la cuantificación de los sectores donde se promovería la estabilidad, así como identificar las regiones de posible pérdida o contracción y de expansión o ganancia de superficie de la laurisilva. Esta identificación puede suponer una herramienta de gran interés desde el punto de vista de la gestión, del mismo modo que requeriría de forma coordinada prospecciones en las áreas de pérdida o ganancia identificadas.

Al restar, haciendo uso de álgebra de mapas (figura 16), dos rasters binarios (cuyos valores son 1 y 0), se producen 3 posibles valores de celdilla:

- 1: Celdillas de valor 1 en el primer sexenio y de valor 0 en el segundo: Píxeles que suponen pérdida de laurisilva.
- 0: Celdillas de valor 1 en ambos sexenios: Píxeles de mantenimiento y donde se promocionaría la estabilidad de la masa del bosque.
- 1: Celdillas con valor 0 en el primer sexenio y con valor 1 en el segundo: Suponen celdillas que cumplen con la condición de formar parte de laurisilva



Figura 16. Cálculo mediante calculadora ráster de la dinámica de los píxeles entre sexenios

La figura 17 representa la dinámica del hábitat de estudio en virtud de la comparativa entre sexenios. La tónica generalizada sobre la superficie del área de estudio es una tendencia a la estabilidad (tabla 4), sobre todo en el sector central de la misma, donde se mantiene la gran mayoría del grueso de píxeles constituyentes del hábitat. Las zonas de pérdida son ligeramente superiores a las zonas donde el hábitat podría haber hallado nuevas prospecciones. Destacan las acontecidas en el Alto Garajonay y en la dorsal de Vallehermoso, así como las producidas en el Parque Natural de Majona. Estas dos últimas fuera de la delimitación del Parque Nacional de Garajonay. Las ganancias se basan en píxeles sueltos, muchos de ellos embebidos sobre una matriz de píxeles que sí constituyen el hábitat en la actualidad o emplazados en el suroeste, donde la formación boscosa se está recuperando posteriormente al incendio de 2012.

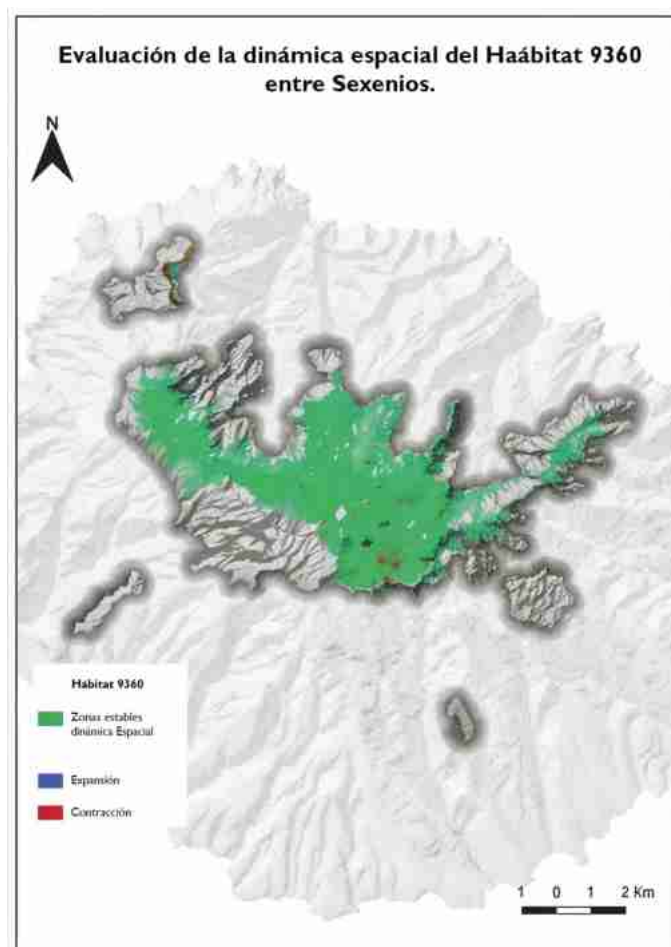


Figura 17. Mapa de la dinámica de la laurisilva en virtud de los sexenios considerados. En él se consideran áreas comunes entre ambos sexenios (tonalidades verdes), áreas de pérdida de píxeles idóneos (celdillas en color rojo) y nuevas áreas de expansión del hábitat (píxeles azules).

Dinámica	Área (Ha)
Ganancia	42.32
Estabilidad	5411.7
Pérdida	84.6

Tabla 4. Comparativa entre sexenios en términos de cantidad de laurisilva que se mantiene, pérdida o ganancia de esta.

• Conclusión

La aplicación de maxSSS como *threshold* constituye una buena alternativa para umbralizar series temporales sexenales de NDVI, con una serie de ventajas y de inconvenientes, que se detallan a continuación y que habría que sopesar en virtud de los datos de partida.

Ventajas:

- Gran robustez numérica y escasa sensibilidad ante posibles irregularidades en el NDVI.
- Replicable para cualquier fecha de NDVI y cualquier lugar. Alta reproductibilidad gracias al código.
- Agilidad de computación al trabajar con remuestreos.

Inconvenientes:

- No existen cálculos pormenorizados por rangos como podrían efectuar unas hipotéticas rupturas naturales. Se trata de una binarización pura.
- Requiere de programación.
- El punto de partida es una cartografía detallada o al menos parcial de los parches de Hábitat 9360 para un mejor entreno del método.

CASO DE ESTUDIO 3: uso del ndvi para la detección de especies invasoras en la laurisilva. el caso del castaño (*Castanea Sativa* Mill.) en La Palma.

Introducción

La presencia del castaño (*Castanea sativa*) ha sido ampliamente reportada en las Islas Canarias más occidentales, aunque más conspicuamente en la isla de La Palma (figura 20, izquierda), donde desde hace años se viene hablando de su capacidad para colonizar en el espacio potencial de la laurisilva (Santos-Guerra 1983), como puede observarse en la figura 20 (derecha). En dicha figura, que representa los píxeles de castaño y laurisilva potencial en un espacio bivariado, es posible ver que los parches de castaño adquieren los mismos valores de índice ombrotérmico (en adelante lo) y de índice de termicidad compensado (en adelante ltc) que una fracción muy concreta de la laurisilva potencial. Estas variables bioclimáticas son dos de los principales descriptores bioclimáticos de la laurisilva canaria (junto a la presencia de niebla) (para más detalles sobre la bioclimatología de La Palma recurrir a Garzón-Machado et al., 2013). Este proceso de ocupación espacial de la laurisilva incluso se ha materializado en forma de publicaciones científicas con distinto abordaje (ej: Devkota et al., 2020; González-Montelongo & Pérez-Vargas 2021).

La posibilidad de poder detectar parches de castaño radica en el hecho de que se trata de una especie caducifolia en los meses invernales, por lo que el fenómeno de la pérdida de hoja entre los meses de enero y febrero facilita este hecho. Por el contrario, existen especies invasoras de porte arbóreo y con un verdor muy similar a los elementos de la laurisilva como *Pittosporum undulatum* y *Cryptomeria japonica* (distribuidas ampliamente en Azores y Madeira); y en menor medida *Ulex europaeus*, cuya identificación se hace mucho más compleja al no presentar una fenología en sus hojas de carácter tan marcado.

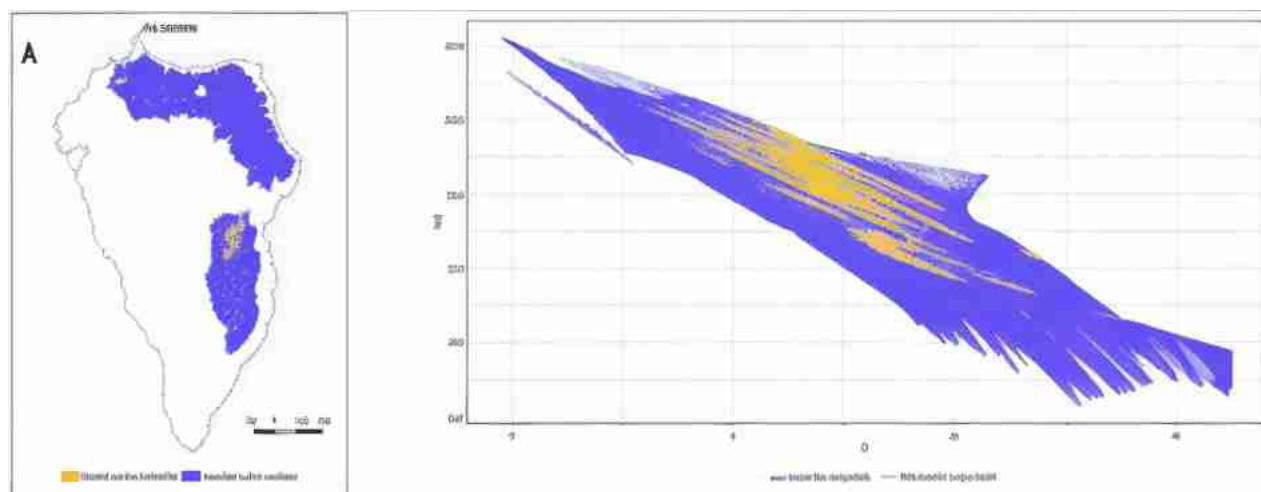


Figura 20. Izquierda: Parches de castaño presentes en el área potencial atribuida a la laurisilva de la isla de La Palma de acuerdo con del Arco *et al.*, 2006. Derecha: Trazado del espacio bioclimático de ambas formaciones vegetales.

Métodos

En los ejemplos anteriores se han expuesto varios estudios aplicados a la detección y evaluación de cambios, en este caso para la laurisilva de La Gomera y el Parque Nacional de Garajonay. Aquí, se van a unir varias técnicas más, pero en este caso para la detección de la expansión de una especie potencialmente invasora en el seno del 9360.

El procedimiento de **vectores temporales o el análisis de cambios en los vectores (CVA)** es otro método clásico para detectar variaciones espectrales entre dos escenas. Se basa en la modificación del nivel digital entre las bandas de la escena, lo que también implica un cambio en su emplazamiento espectral. Se incorpora tanto la importancia del cambio como la magnitud de éste. La magnitud queda definida por la longitud del vector que separa el nivel digital del píxel en la escena 1 y 2 de acuerdo con la banda/índice correspondiente. Por ejemplo, un píxel que reduce su valor de vigor vegetal disminuye su nivel digital en el infrarrojo cercano (menor reflectancia) y lo incrementa en el rojo (reflectancia mayor; menor capacidad de absorción del rojo, merma en la maquinaria fotosintética, senescencia, etc.). Por ende, el vector tendrá una dirección descendente y hacia la derecha del eje bivariado NIR-RED. Este análisis aporta dos salidas en formato ráster, una con el ángulo del cambio en el espacio y otra con la magnitud de este.

Los resultados obtenidos de la regresión lineal (rásteres de predichos y residuos), el NDVI de las dos escenas, su diferencia entre fechas (dNDVI) y la magnitud y el ángulo de cambio obtenidos de CVA, variables todas ellas en formato ráster y con un alto nivel de autocorrelación y multicolinealidad (Leutner & Wegmann 2016), se introducen en un **análisis de componentes principales ráster** (en adelante

RPCA, por sus siglas en inglés) previo escalado y normalizado de las mismas, con el fin de obtener variables ráster adimensionales, no correlacionadas y combinación lineal de las previamente introducidas, que intenten acoger la máxima variabilidad de las características espectrales del espacio.

Posteriormente, se someten estos componentes principales resultante a un clusterizado por k-medias (método no supervisado, pero que necesita establecer un número de agrupamientos ‘a priori’), método clásico aplicado sobre datos provenientes de teledetección para distinguir grupos homogéneos entre sí y heterogéneos entre ellos sobre el terreno, comunidades vegetales (Hoffman *et al.*, 2018), etc. Este método distribuye aleatoriamente un número de puntos semilla en el espacio espectral. A continuación, se agrupa una gran muestra de píxeles en su semilla más cercana y se calcula el valor espectral medio de este grupo. Ese valor medio se asemeja a un centro de masa de los puntos y se conoce como centroide. En cada iteración se recalculan las medias de las clases y se reclasifican los píxeles con respecto a las nuevas medias. Este proceso se repite hasta que los centroides se mantienen relativamente estables y sólo unos pocos píxeles cambian de clase en las iteraciones siguientes (Puzzi *et al.*, 2024). Para ello, se efectúan 100 réplicas y atendiendo a los cinco tipos de coberturas del suelo considerados en la máscara de estudio: fayal-brezal/laurisilva, pinar húmedo, castañar, cultivos y coladas recientes. Este procedimiento es variable a la naturaleza del territorio de estudio y el conocimiento de este. El esquema de trabajo de este caso de estudio queda resumido en la figura 21.

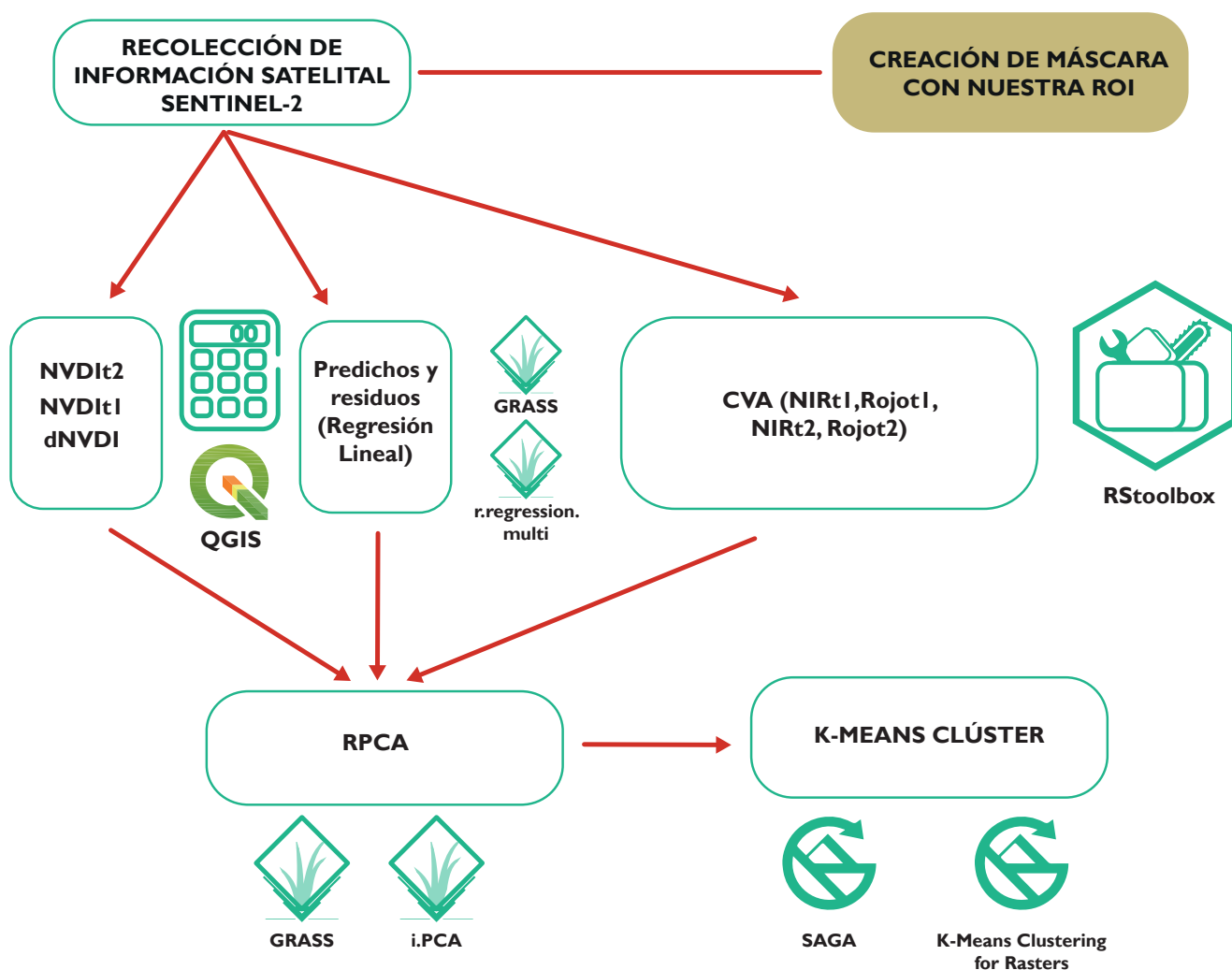


Figura 21. Flujo de trabajo empleado en la metodología. En azul, procesos que implican una salida en formato ráster; en verde, una salida vectorial. Se acompaña cada proceso con su herramienta de aplicación en el entorno QGIS y R.

El resultado final de este procedimiento de detección de cambios es un conjunto de clústeres o agrupamientos espaciales, cuyos píxeles intracluster aglutinan unas características comunes de verdor y cambio, que permiten discernirlos del resto de clústeres conformados. Estos clústeres serán tamizados y validados con información temática y con otras fuentes digitales de alta resolución con el fin de filtrar y eliminar los posibles píxeles residuales.

Productos Satelitales empleados	Proveedor
S2A_MSIL2A_20180708T120331_N0208_R023_T28RBS_20180708T141805	Sentinel-2
S2A_MSIL2A_20190213T120321_N0211_R023_T28RBS_20190213T172742	Sentinel-2

Resultados

Una de las posibles formas de evaluar el comportamiento en términos de reflectancia de las coberturas de vegetación es mediante el estudio de su firma espectral. Esto es, trazar el recorrido de la reflectancia en las distintas regiones del espectro o longitudes de onda de las clases elegidas, en este ejemplo, la del castaño, el fayal-brezal y la laurisilva, respectivamente. Como se puede observar en la firma espectral del fayal-brezal, la laurisilva y los parches de castaño para el conjunto de bandas de febrero de 2019 (figura 22), se puede deducir una mayor reflectividad del castaño en el rojo y el infrarrojo de onda corta (SWIR1 y SWIR 2, bandas 11 y 12, respectivamente), justamente las regiones del espectro donde la ausencia de vegetación (en este caso la ausencia de hojas y de estructura foliar) se hace notar con valores más altos. Esta dinámica es propia de las formaciones caducifolias, hecho que se hace más evidente en un contexto de vegetación mayoritariamente de carácter perenne (Caparrós-Santiago *et al.*, 2023). En el NIR, como es de esperar, dicha reflectancia es inferior respecto al fayal-brezal y los parches de laurisilva, vegetación por lo general siempre verde y cuya maquinaria y rendimiento fotosintético es más estable a lo largo del año.

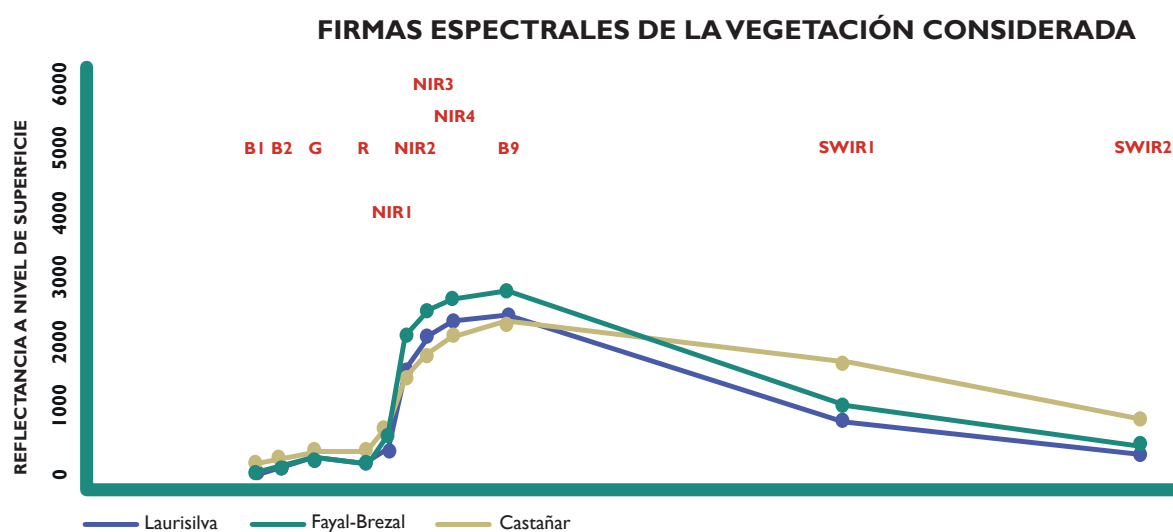


Figura 22. Recorrido espectral de las cubiertas consideradas para febrero de 2019.

De acuerdo con la figura 23, se constata la detección de los parches de castaño, los cuales tienen una presencia notable en el área de estudio. Además, se puede observar cómo estas formaciones han aumentado su distribución espacial hacia el sur, en la zona de Breña Baja, justo en los espolones de la dorsal de Cumbre Nueva orientados hacia el este, en dominio potencial de laurisilva y cuya vegetación actual se encuentra asignada a fayal-brezal. En el sector noreste de la isla, los parches identificados de castaño son de menor relevancia, lo mismo que ocurre con los emplazados en pinar húmedo.

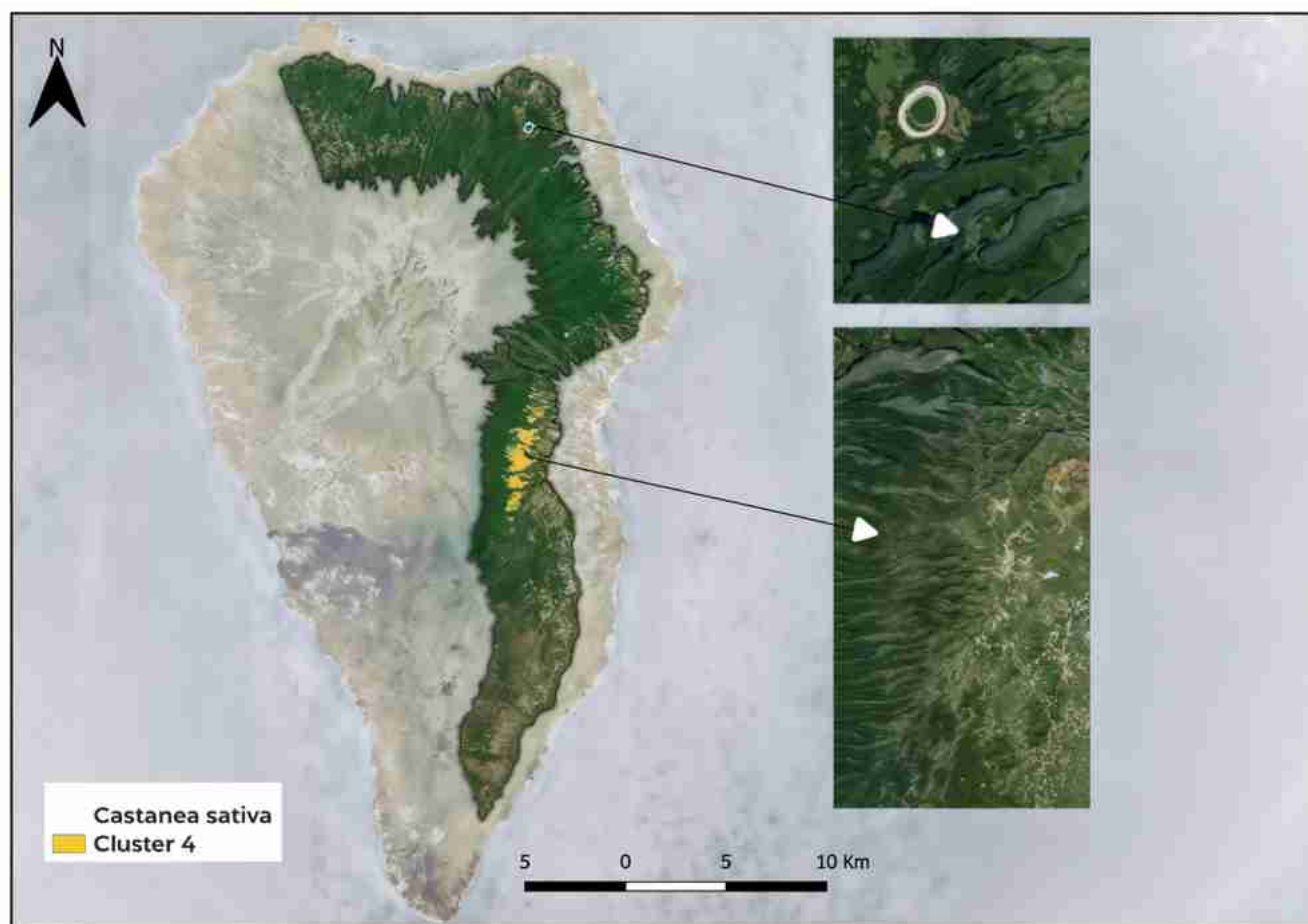


Figura 23. Parches de castaño localizados mediante el uso de PCA + K-means.

La tabla 4 establece la comparativa entre la superficie obtenida en la metodología anteriormente expuesta y lo establecido por del Arco y colaboradores en 2006 en el Mapa de Vegetación de Canarias. El área correspondiente a los parches de castaño ha incrementado en la zona de estudio en 16 hectáreas en 2019, fundamentalmente en detrimento del fayal-brezal, aunque también en áreas pertenecientes a la laurisilva húmeda.

Parches de castaño	Área (ha)
del Arco <i>et al.</i> , (2006)	384
Clúster 4 (2019)	400

Tabla 4. Cobertura de castaño en el área de estudio para el análisis aplicado y en comparación con la vegetación real de La Palma (del Arco *et al.*, 2006)

Esta metodología, permite cuantificar y monitorizar prácticamente a tiempo real el proceso de invasión de una especie caducifolia en el hábitat de interés, sin tener que recurrir a complejas clasificaciones supervisadas, que normalmente implican una buena selección de áreas de entreno, la aplicación de un algoritmo clasificador adecuado y su calibrado, un proceso de validación y una corrección post-clasificado del resultado. Todo ello lleva inherente un *background* de conocimiento de dichas técnicas de teledetección y clasificado, además de conocer el área de estudio y sus coberturas del suelo.

4. OTRAS CONSIDERACIONES.

En este último apartado se van a hacer una serie de puntualizaciones adicionales sobre las diferentes técnicas de teledetección, los aspectos que cubren, limitaciones, casos especiales a tener en cuenta y recursos complementarios.

• Apuntes sobre la granularidad del análisis

El estudio de la información espectral clásica aporta una información muy valiosa sobre la cantidad de biomasa, el estado fisiológico de la vegetación, su rendimiento y actividad fotosintética e incluso puede ayudar a distinguir importantes unidades de vegetación en el territorio, a la par que es una técnica fundamental para hacer clasificaciones supervisadas; todo ello con información proveniente de satélites y el cálculo posterior de índices de vegetación. Por otro lado, los dispositivos hiperespectrales (UAV) o las imágenes de muy alta resolución (eg; *RapidEye* o *Quickbird*) pueden ayudar a la elaboración de firmas espectrales por especies, lo que permite un descenso en la granularidad del análisis, desde grandes unidades de vegetación a poder mapear y estudiar a nivel de comunidades e incluso de taxones y su distribución en el espacio (Masseti *et al.*, 2016). En cambio, si el objeto de estudio es efectuar inferencias sobre otras características del ecosistema como pueden ser su madurez, su estructura, complejidad vertical, efectuar una clasificación por estratos vegetales a fin de poder elaborar modelos de combustible, etc., las opciones de aplicación se restringen a tecnologías como LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging, de sus siglas inglesas) o SAR (Synthetic Aperture Radar, de sus siglas inglesas) (Parada-Díaz *et al.*, 2022).

• Efecto topográfico

La topografía puede suponer en ocasiones un problema a la hora de trabajar con imágenes satelitales y teledetección. Es un factor limitante que queda asumido por los mismos principios sobre los que se cimentan estas técnicas. La posición del sol (elevación solar) a la hora de la captura de la escena por parte del sensor es un factor diferencial. Ciertas zonas no expuestas y con una complejidad topográfica notable pueden no quedar cubiertas y por lo tanto no mostrar reflectancia, lo que las hace convertirse en sombras absolutas.

En ciertas situaciones, la necesidad del estudio requiere utilizar las escenas en una fecha concreta, por lo que hay que lidiar con este tipo de problemas. Algunos expertos sugieren la utilización de escenas adquiridas durante el verano, al ser la estación del año en la que la incidencia de los rayos solares es más vertical, lo que neutraliza el efecto de determinados sombreados. Aunque por la disposición del mar de nubes durante esta época, donde alcanza su mayor frecuencia y acúmulo en las vertientes expuestas al alisio, se puede dar una reducción en la disponibilidad de imágenes satelitales sin interferencias nubosas. La aplicación de correcciones topográficas ha quedado demostrada que incluso mejoran las clasificaciones supervisadas y semiautomáticas. La solución ante este tipo de situaciones puede radicar parcialmente en las comparaciones entre bandas adquiridas en fechas similares pero distinto año, que cuentan con la misma posición solar y por lo tanto el efecto de la topografía quedará neutralizado. En cambio, para escenas adquiridas durante etapas diferentes del año, las diferencias de iluminación sí que son un limitante a tener en cuenta.

• Métodos basados en umbrales

Como indica Chuvieco (2008), la mayoría de las técnicas de detección de cambios devuelven superficies de valores continuos, donde las modificaciones entre escenas se presentan como una escala gradual de cambio, y no con las deseadas categorías binarias de cambio/estabilidad. En muchas ocasiones, queda en manos del intérprete la misión de distinguir áreas de cambio/no cambio y de corroborar mediante trabajo de campo el sentido e importancia de éste. Existen alternativas como la segmentación de las imágenes resultantes o la naturaleza y la forma del histograma de valores para evaluar cambios entre imágenes. En la teoría, con la obtención de un perfil bimodal, la primera moda corresponde a píxeles

estables, mientras que la segunda se atribuye a píxeles dinámicos, aunque el cambio en la naturaleza suele ser gradual y no abrupto y la interpretación de este suele estar sometida a arbitraje del intérprete.

Uno de los puntos que más se ha reforzado en el presente documento es la manera de hallar un criterio científico y cuantitativo para abordar esta cuestión, de ahí a que se haya subrayado la importancia de disponer de una buena cartografía de la vegetación como punto de partida. La elección de un valor umbral debe aglutinar tanto que éste sea capaz de acoger la importante variabilidad de valores del índice de vegetación propuesto y la capacidad de discriminar las coberturas del terreno deseadas, equilibrando la ratio de errores de omisión y de comisión. Esta última cuestión es difícil de abordar sin la correcta determinación de zonas que corresponden el hábitat frente a zonas que no lo hacen.

5. REFERENCIAS

- Barbosa AM, Real R, Munoz, AR, Brown, JA (2013) New measures for assessing model equilibrium and prediction mismatch in species distribution models. *Diversity and Distributions*: 19(10).
- Caparrós-Santiago JA, Quesada-Ruiz LC, Rodríguez-Galiano V (2023) Can land Surface phenology from Sentinel-2 time-series be used as an indicator of Macaronesian ecosystem dynamics? *Ecological informatics* 77: 102239.
- Chuvieco E (2008) Teledetección Ambiental. Ariel Ciencias. Barcelona. 597 pp.
- del Arco MJ, Wildpret W, Pérez PL, Rodríguez-Delgado O, Acebes JR, García A, Martín-Osorio VE, Reyes-Betancort A, Salas-Pascual M, Díaz MA, Bermejo JA, González R, Cabrera MV, García S (2006) Mapa de Vegetación de Canarias. GRAFCAN SL, Santa Cruz de Tenerife, 552 pp.
- del Arco MJ, Rodríguez O (2018) The Vegetation of the Canary Islands. Springer.
- Devkota RS, Field R, Hoffmann S, Walentowitz A, Medina FM, Vetaas OR, Chiarucci A, Weiser F, Jentsch A, Beierkuhnlein C (2020) Assessing the Potential Replacement of Laurel Forest by a Novel Ecosystem in the Steep Terrain of an Oceanic Island. *Remote Sensing* 12(24):4013.
- Fletcher R, Fortin MJ (2019) Spatial Ecology and Conservation Modelling (Applications with R). Springer. 523 pp.
- García-Álvarez D, Camacho-Olmedo MT, Paegelow M, Mas JF (2022) Land Use Cover Datasets and Validation Tools. Validation Practices with QGIS. Springer. 462 pp.
- Garzón-Machado V, Otto R, del Arco MJ (2013) Bioclimatic and vegetation mapping of a topographically complex oceanic island applying different interpolation techniques. *International Journal of Biometeorology*
- González-Montelongo C, Pérez-Vargas I (2021) Is an invasive alien tree able to sustain a similar lichen diversity as the native forest? The case of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and the laurel forest in Macaronesia. *Forest Ecology and Management* 488: 119009.
- Hijmans R (2023) raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.6-26
- Hijmans RJ, Phillips S, Leathwick J, Elith J (2023) dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.3-14.
- Ibarrola-Ulzurrun E, Marcello J, Gonzalo-Martín C, Martín JL (2019) Temporal dynamic analysis of a mountain ecosystem based on multi-source and multi-scale remote sensing data. *Ecosphere* 10 (6).
- Hoffmann S, Schmitt T, Chiarucci A, Irl SDH, Rocchini D, Vetaas OR, Tanase MA, Mermoz S, Bouvet A, Beierkuhnlein C (2018) Remote sensing of beta-diversity: Evidence from plant communities in a seminatural system. *Applied Vegetation Science*: 1-14.
- Leutner B, Wegmann M, Dechs S (2016) Remote Sensing and GIS for Ecologists: Using Open Source Software. Exeter: Pelagic Publishing, UK. 300 pp.
- Masseti A, Menezes-Sequeira M, Pupo A, Figueredo A, Guiomar N, Gil A (2016) Assessing the effectiveness

of RapidEye multispectral imagery for vegetation mapping in Madeira Island (Portugal). *European Journal of Remote Sensing* 49: 643-672.

Parada-Díaz J, Fernández AB, Gómez LA, del Arco MJ, González-Mancebo JM (2022) Assessing the Usefulness of LiDAR for Monitoring the Structure of a Montane Forest on a Subtropical Oceanic Island. *Remote Sensing* 14: 994.

Puzzi A, Dyson K, Saah D, Clinton N (2024) Interpreting an image: Classification. In J.A. Cardille et al., (eds.), *Cloud-Based Remote Sensing with Google Earth Engine*, pp 115-134.

Ranghetti L, Boschetti M, Nutini F, Busetto L (2020). sen2r: An R toolbox for automatically downloading and preprocessing Sentinel-2 satellite data. *Computers & Geosciences* 139: 104473.

Santos-Guerra A (1983) *Flora y Vegetación de La Palma*. Editorial Interinsular Canaria. 340 pp.

Verbesselt J, Loew F, Wohlfart C, Wegmann M (2016) *Time Series Analysis in Remote Sensing and GIS for Ecologists: Using Open Source Software*. Exeter: Pelagic Publishing, UK.

Wickham H (2016) *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Recursos Web

[1] https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/9360_tcm30-197129.pdf. [Accedido 21/02/2024].

[2] https://www.jolube.net/Habitat_Espana/documentos/9360.pdf. [Accedido 22/02/2024].

[3] https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/4050_tcm30-197049.pdf. [Accedido 21/02/2024].

[4] <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. [Accedido 17/02/2024].

[5] <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>. [Accedido 14/02/2024].

[6] https://image.discomap.eea.europa.eu/arcgis/rest/services/Corine/CLC2018_WM/MapServer/legend. [Accedido 14/02/2024].

[7] <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>. [Accedido 03/03/2024].

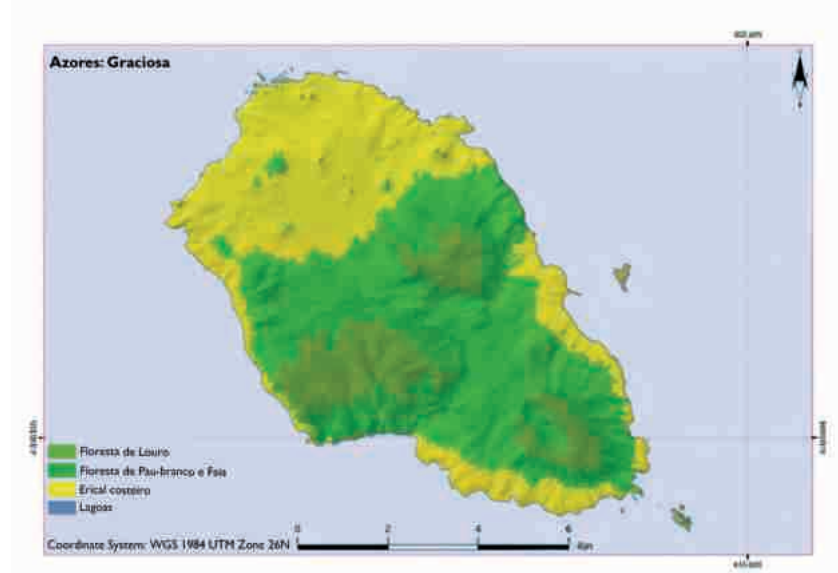
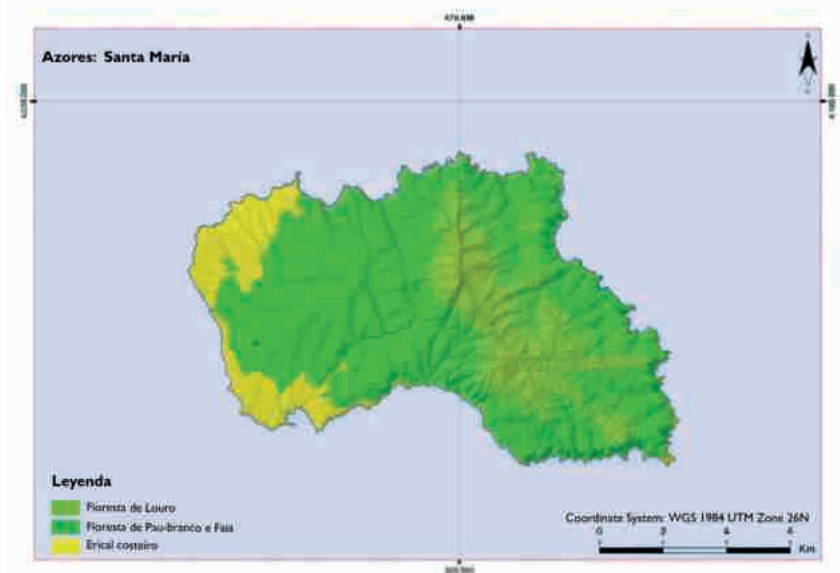
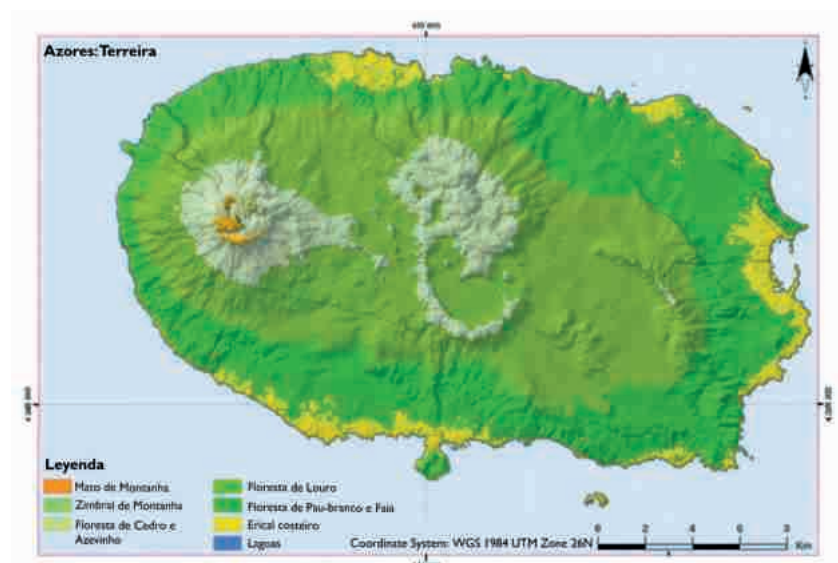
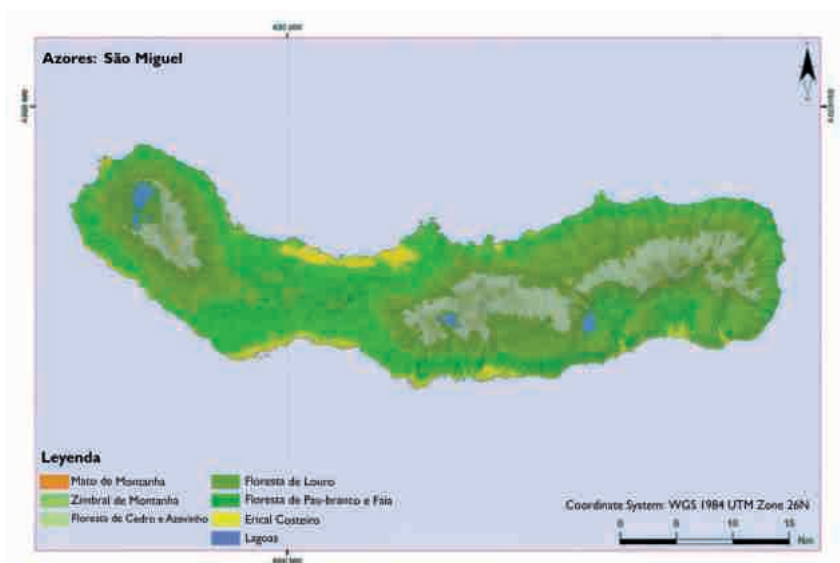
[8] https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&themeId=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=https%3A%2F%2Fsh.dataspace.copernicus.eu%2Fogc%2Fwms%2Fa91f72b5-f393-4320-bc0f-990129bd9e63&datasetId=S2_L2A_CDAS&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE [Accedido 13/02/2024].

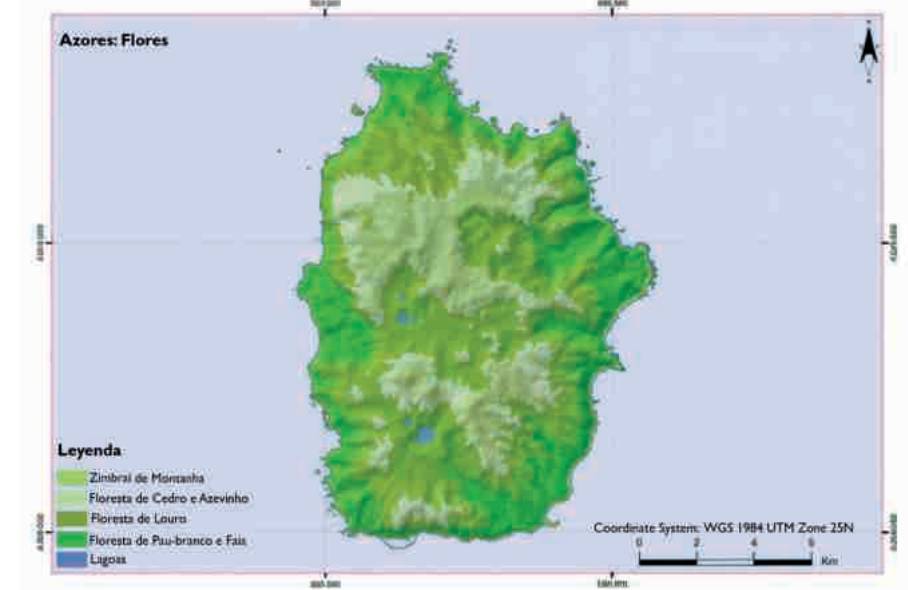
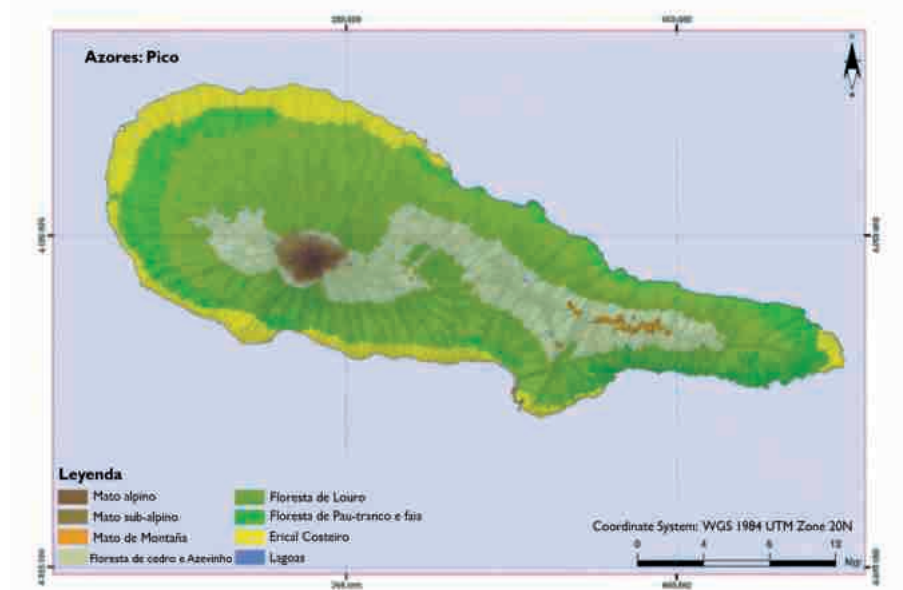
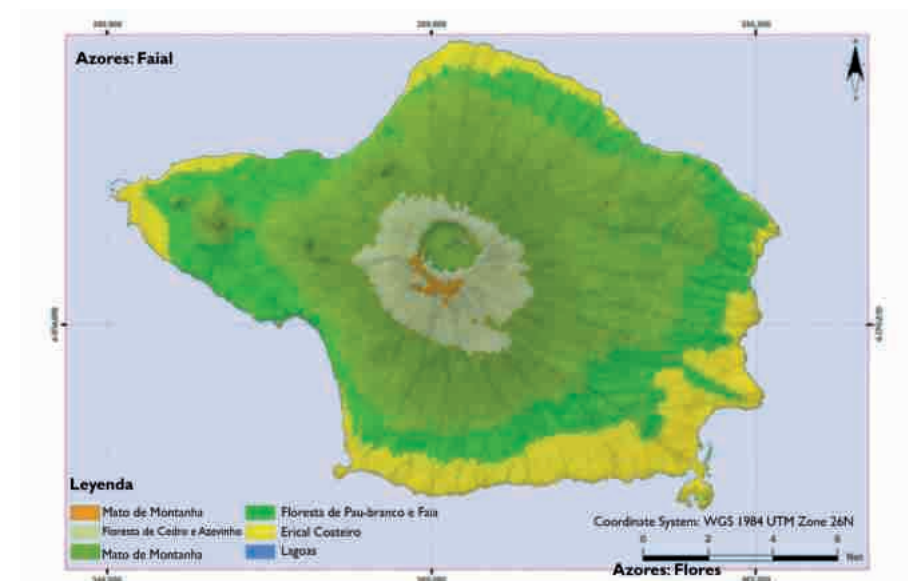
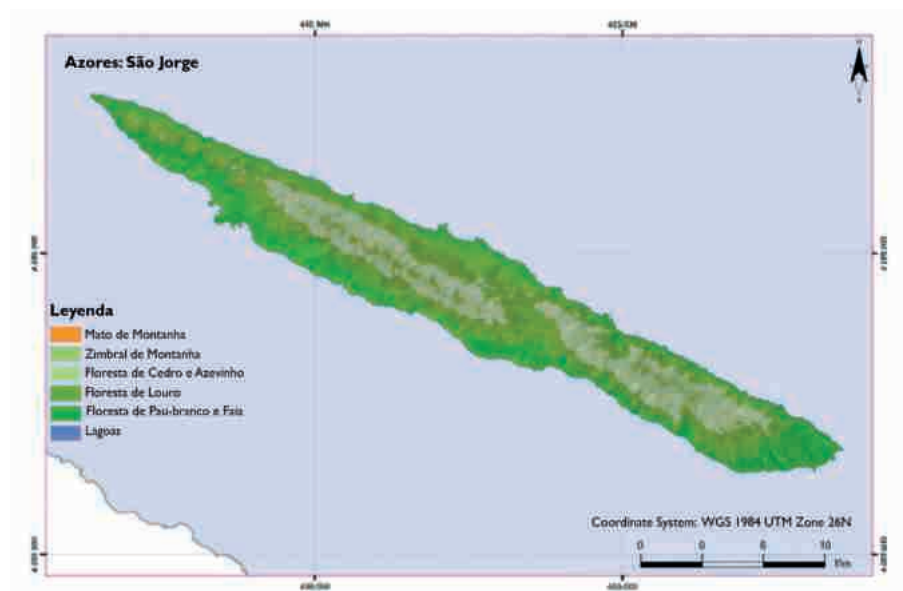
[9] <https://gdal.org/drivers/raster/index.html>. [Accedido 05/03/2024].

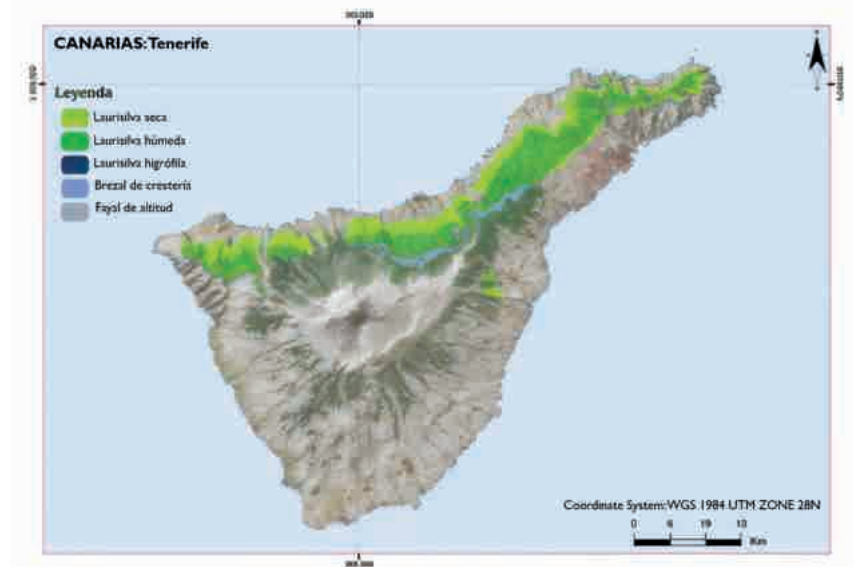
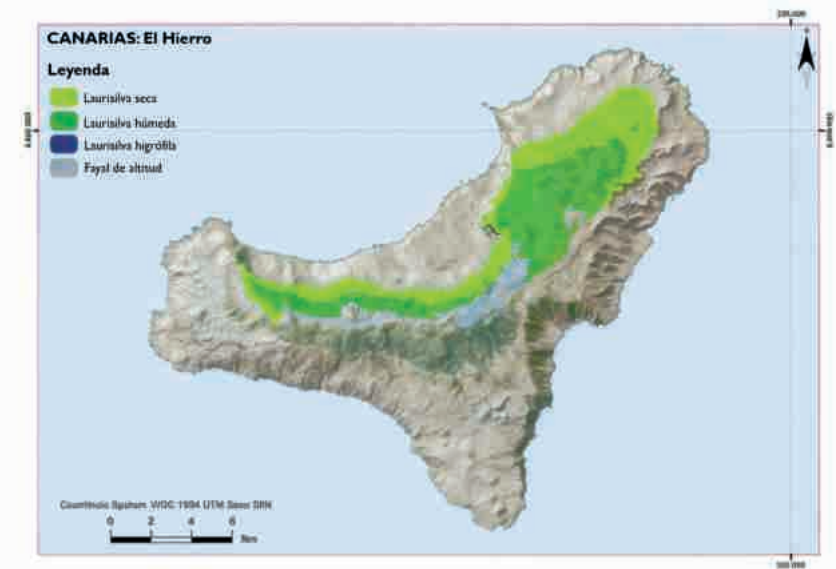
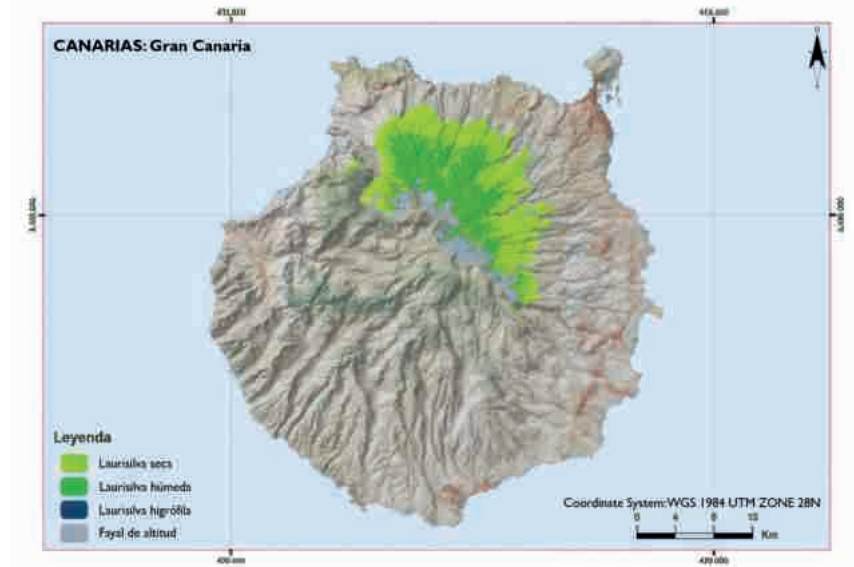
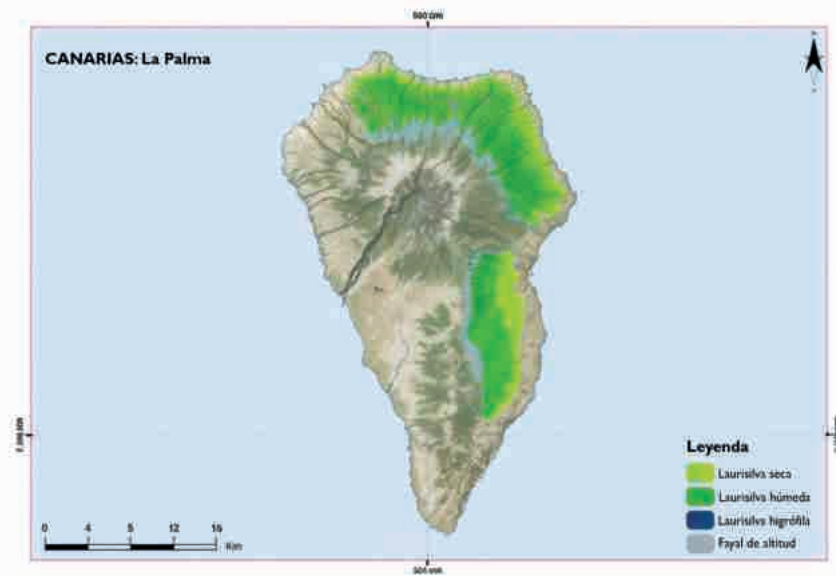
[10] <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>. [Accedido 05/03/2024].

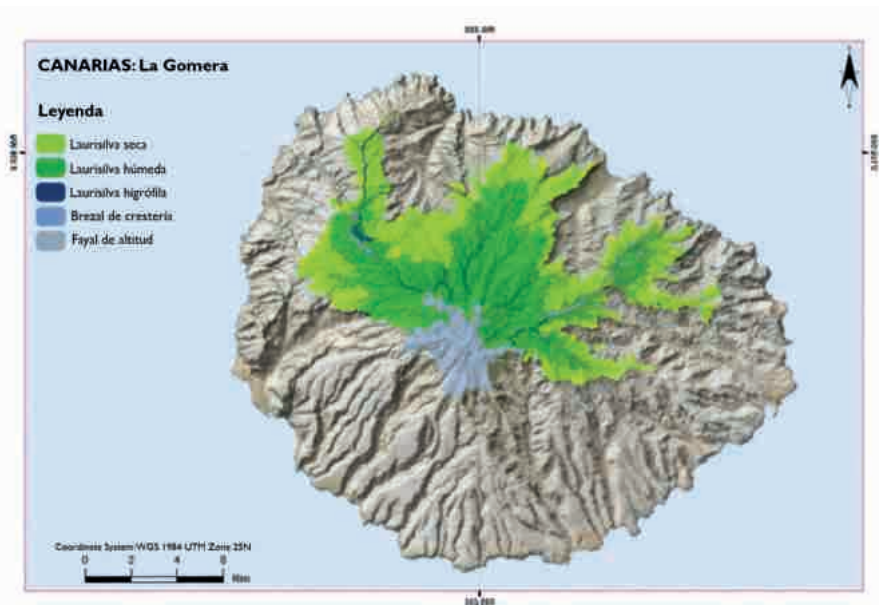
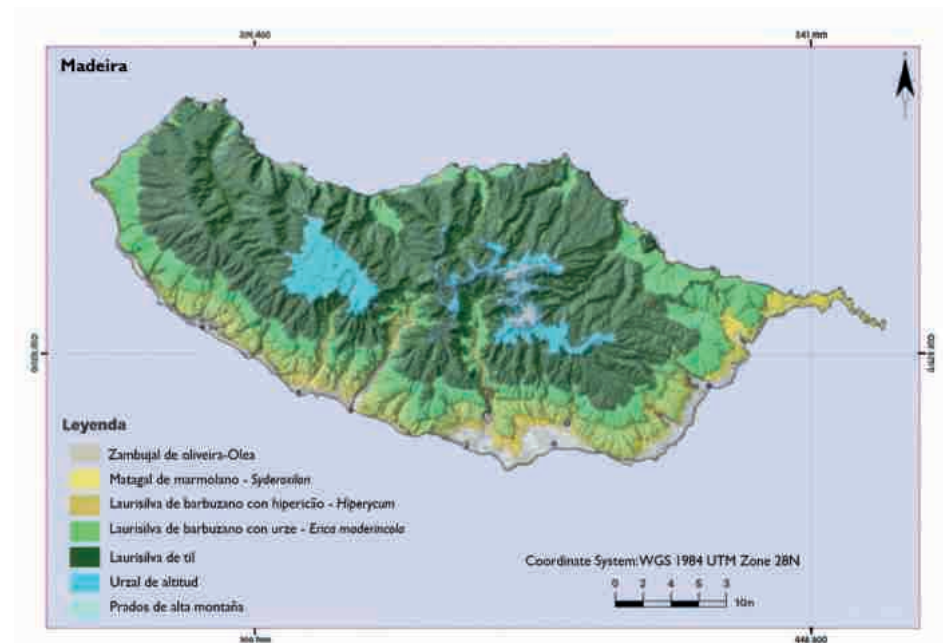
[11] <https://grass.osgeo.org/grass83/manuals/r.regression.multi.html> [Accedido 13/03/2024].

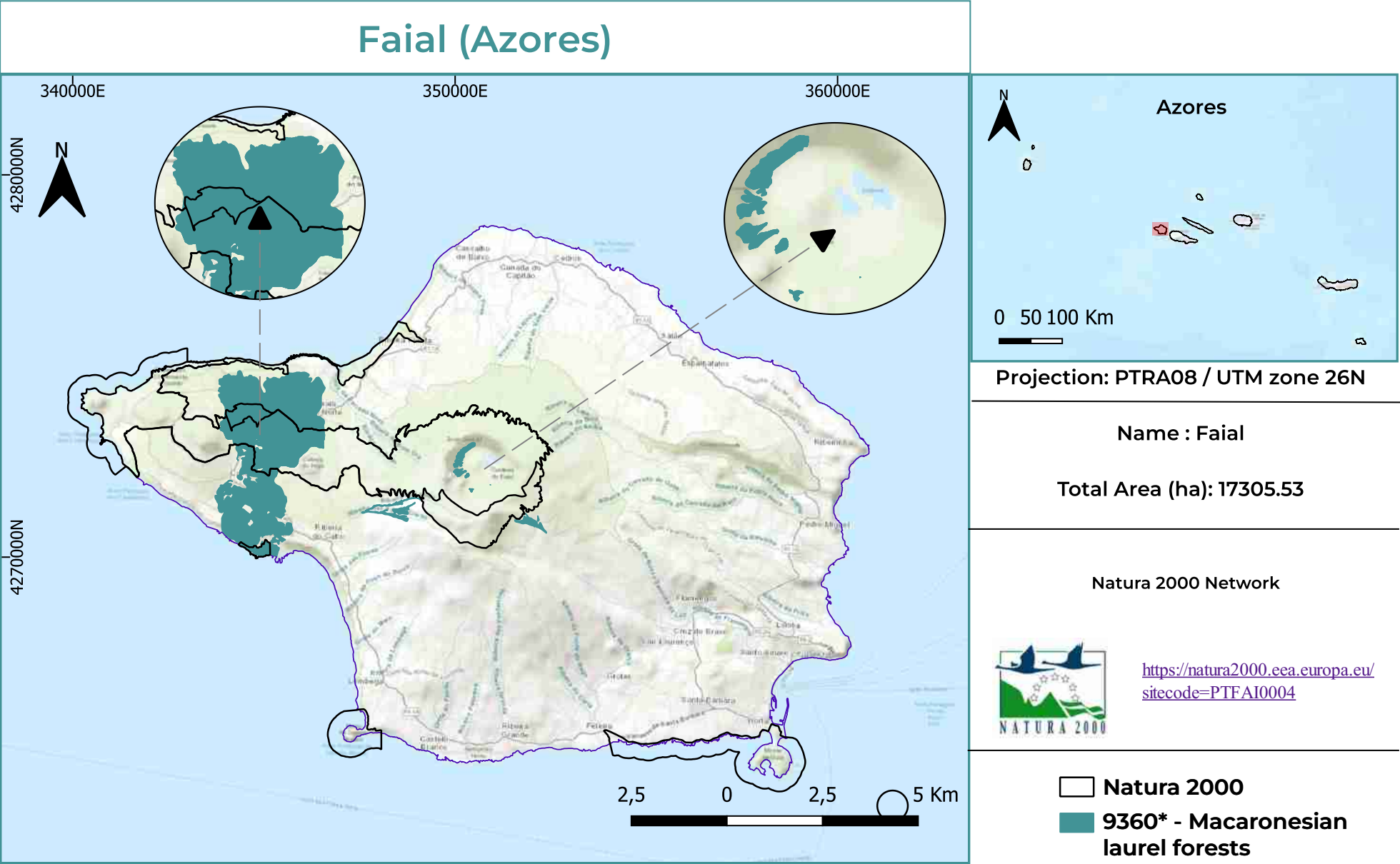
Anexo 4 Mapas de la distribución potencial del 9360 en la Macaronesia (Fuente: Fernández-Palacios *et al.*, 2017).



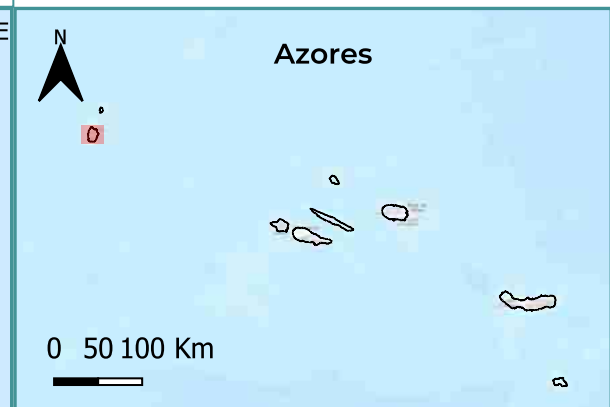








9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
300,89	34,38	5,3

[illegible]

Name : Flores Total Area (ha): 14096.22



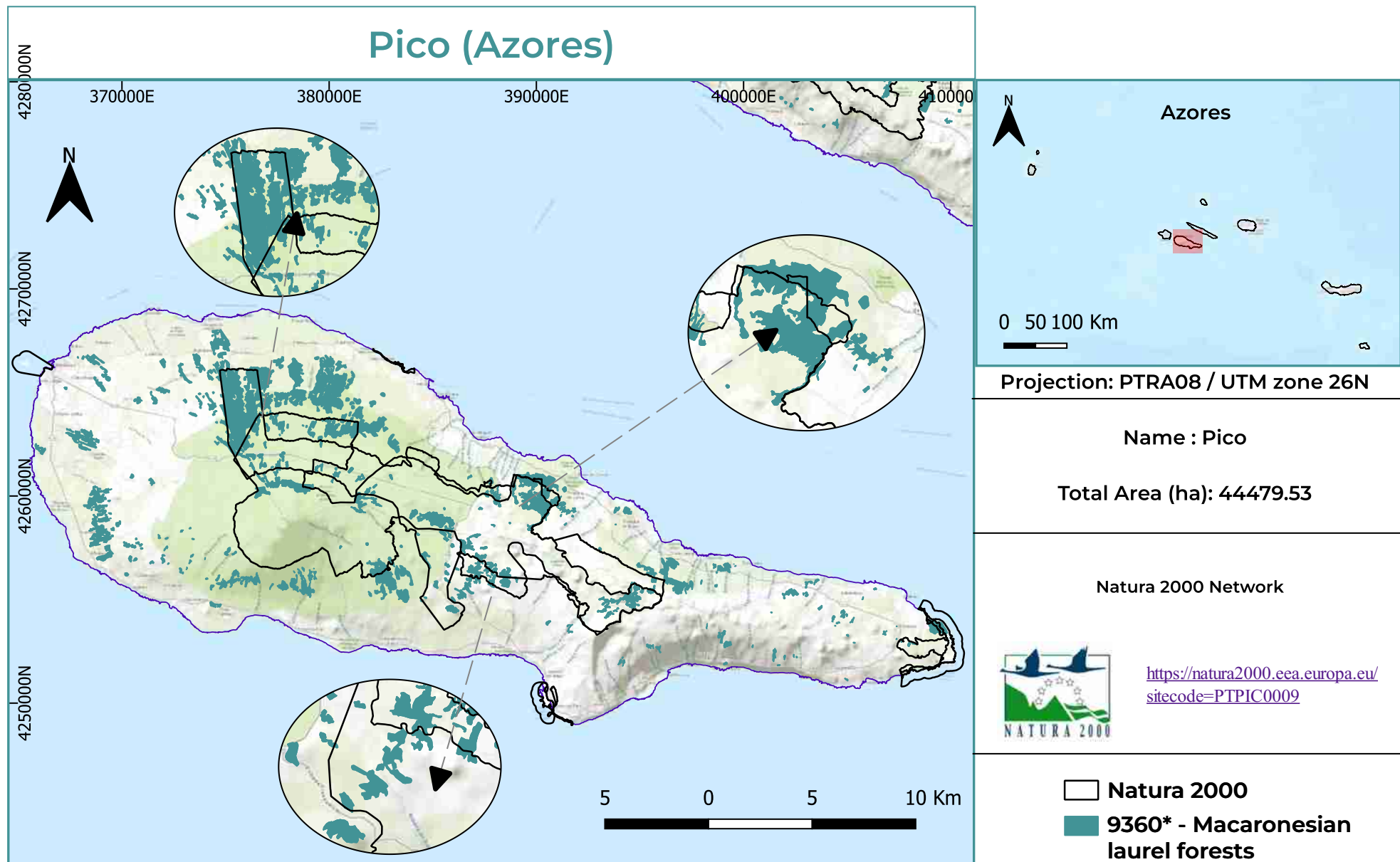
<https://natura2000.eea.europa.eu/sitecode=PTFLO0002>

 Natura 2000

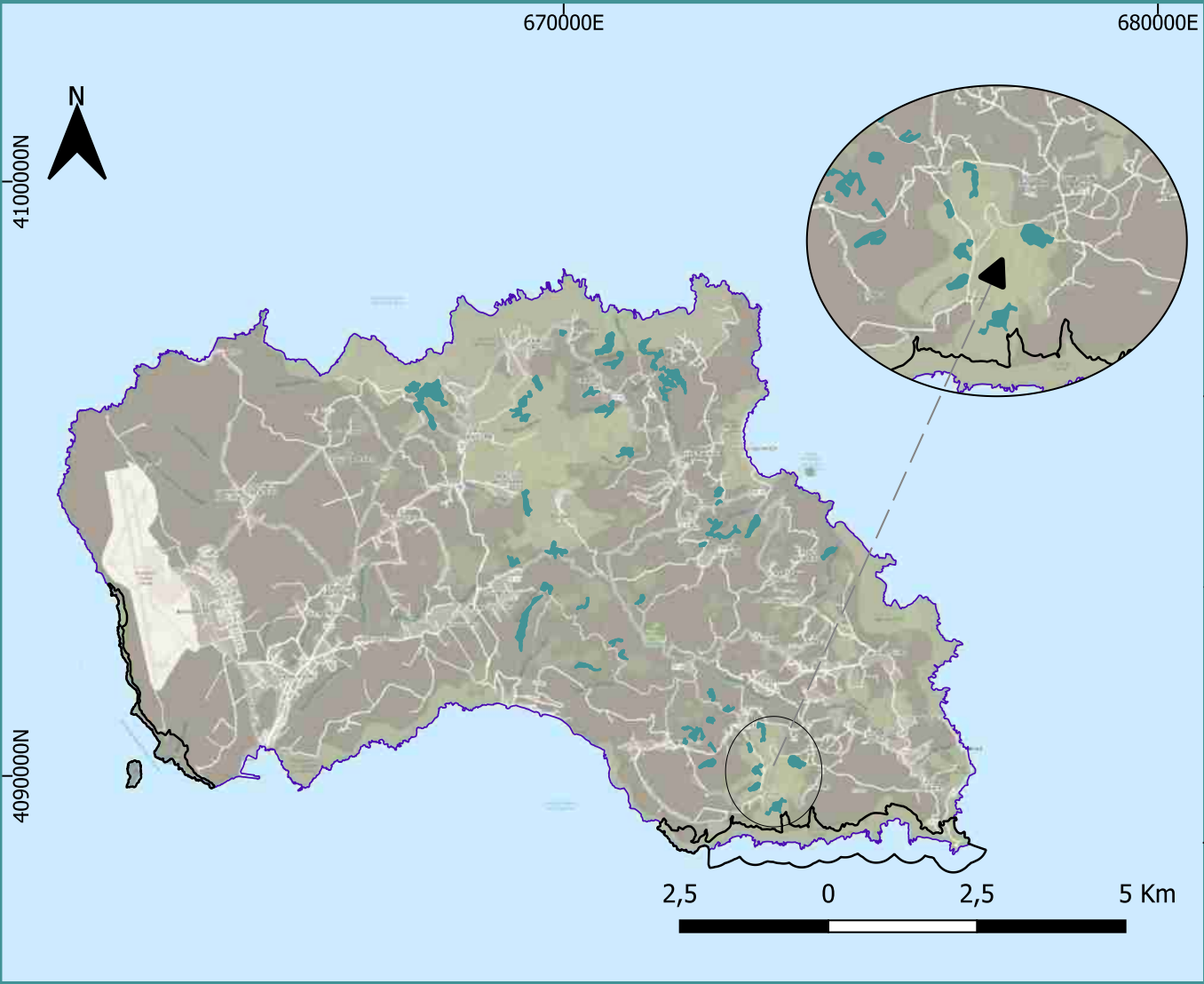
 9360* - Macaronesian laurel forests

0 protected area

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
45,73	31,95	0,81



Santa Maria (Azores)



Projection: PTR08 / UTM zone 26N

Name : Santa Maria

Total Area (ha): 9688.74

Natura 2000 Network

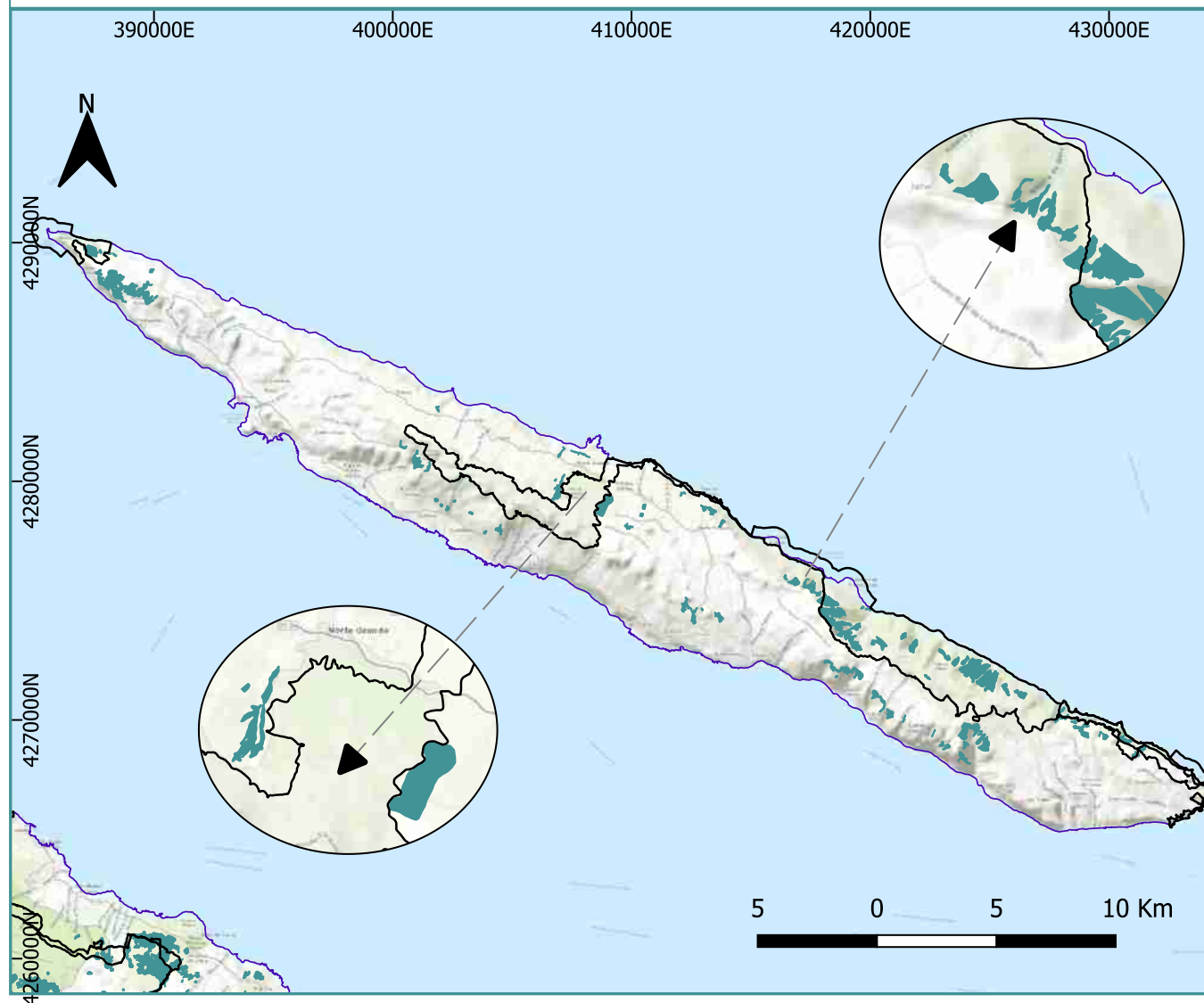


<https://natura2000.eea.europa.eu/sitecode=PTSMA0022>

-  Natura 2000
-  9360* - Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
0	0	0

São Jorge (Azores)



Projection: PTR08 / UTM zone 26N

Name : São Jorge

Total Area (ha): 24364.78

Natura 2000 Network

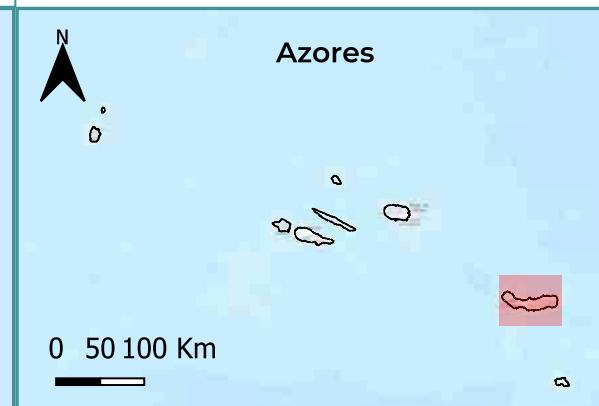
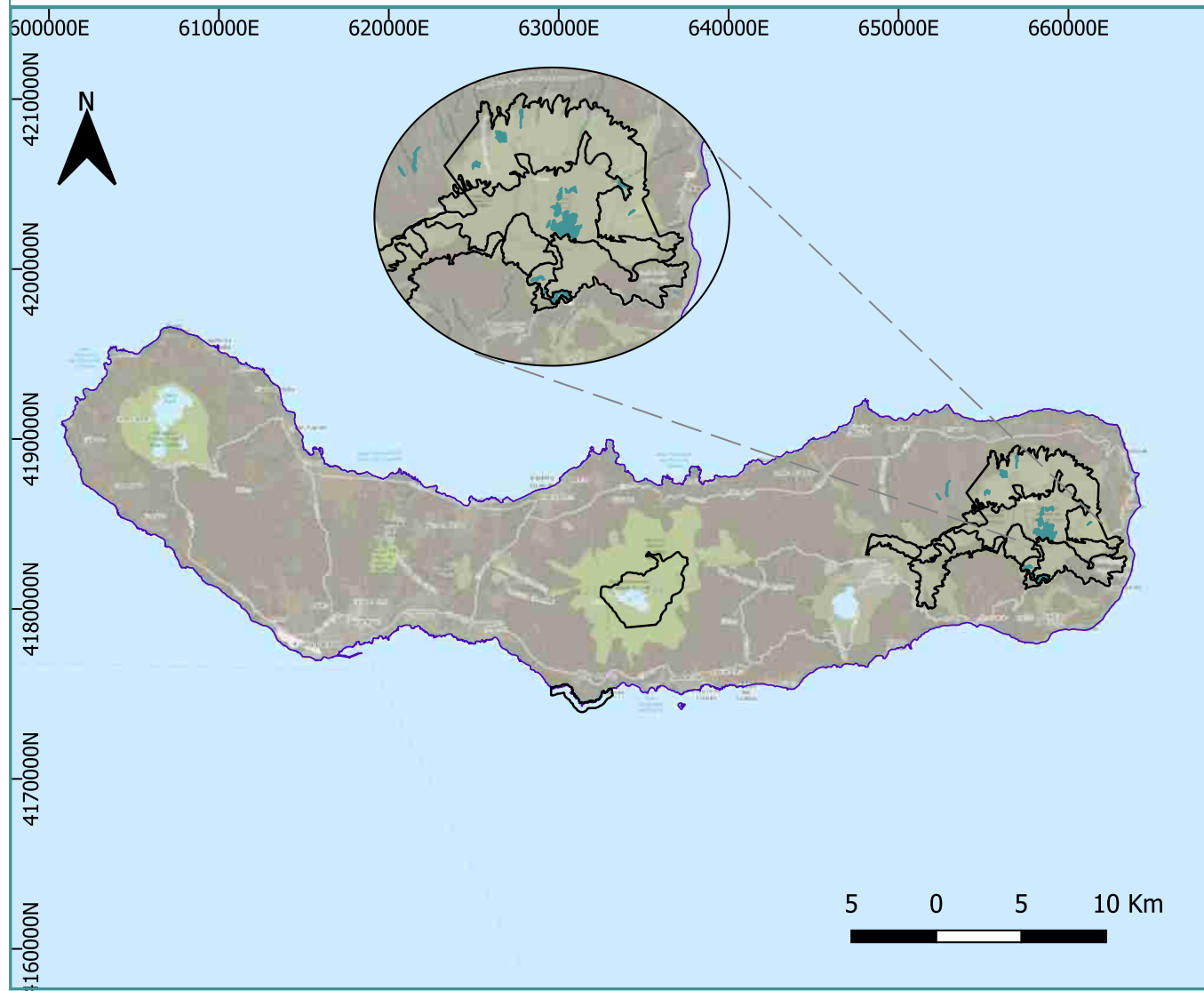


<https://natura2000.eea.europa.eu/sitecode=PTJOR0014>

- Natura 2000
- 9360* - Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
278,06	42,77	4,9

São Miguel (Azores)



Projection: PTR08 / UTM zone 26N

Name : São Miguel

Total Area (ha): 74457.5

Natura 2000 Network

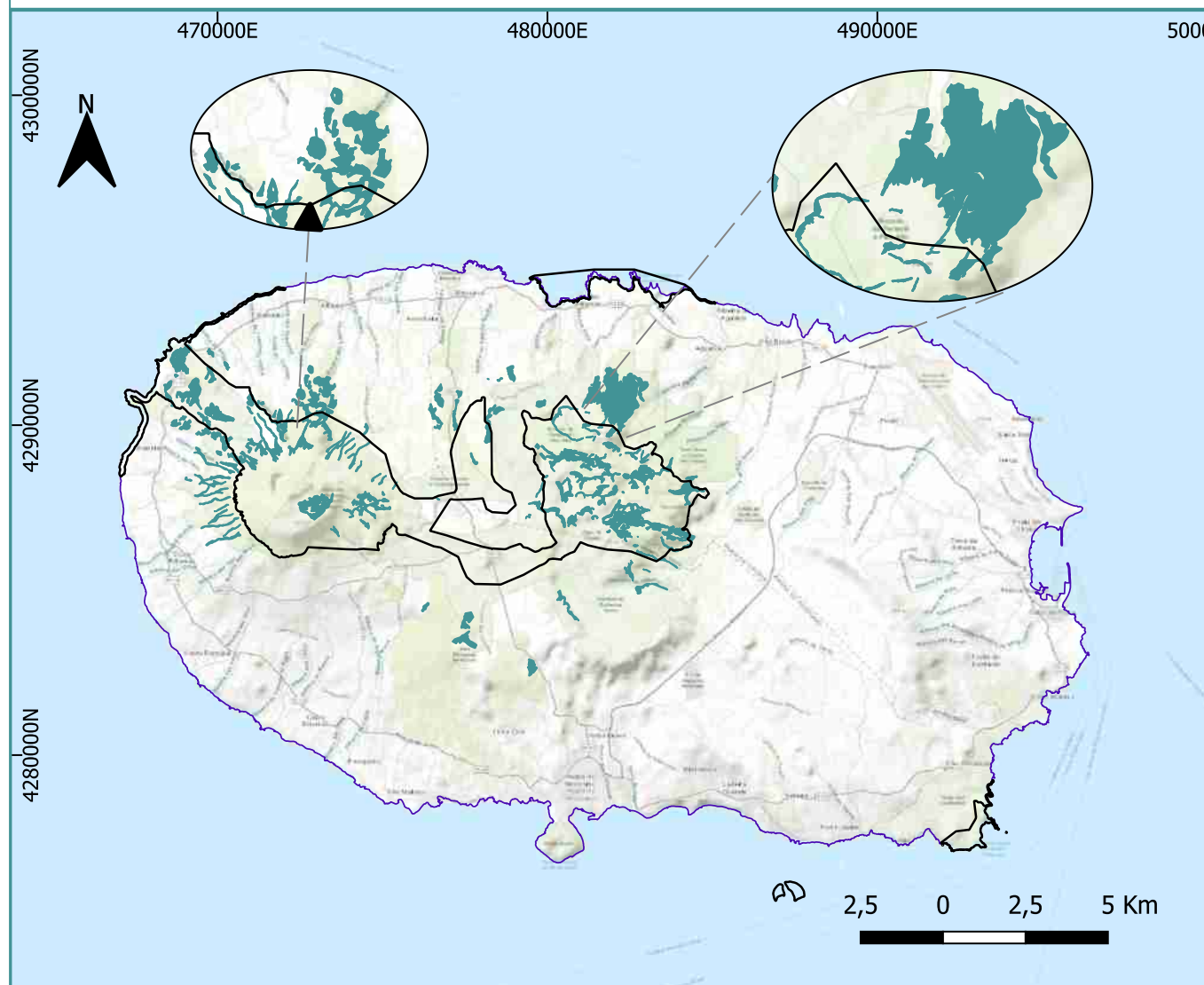


<https://natura2000.eea.europa.eu/sitecode=PTMIG0024>

- Natura 2000
- 9360* - Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
132,6	93,14	2,33

Terceira (Azores)



Projection: PTR08 / UTM zone 26N

Name : Terceira

Total Area (ha): 40026.72

Natura 2000 Network

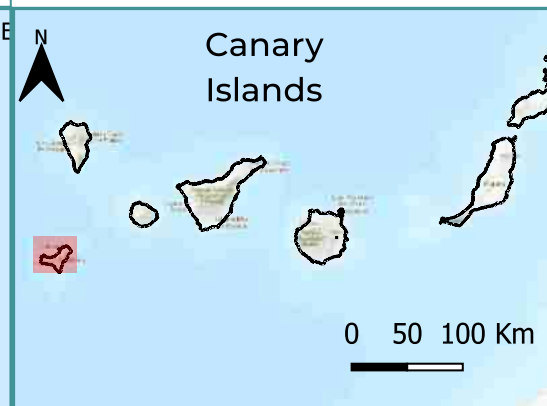
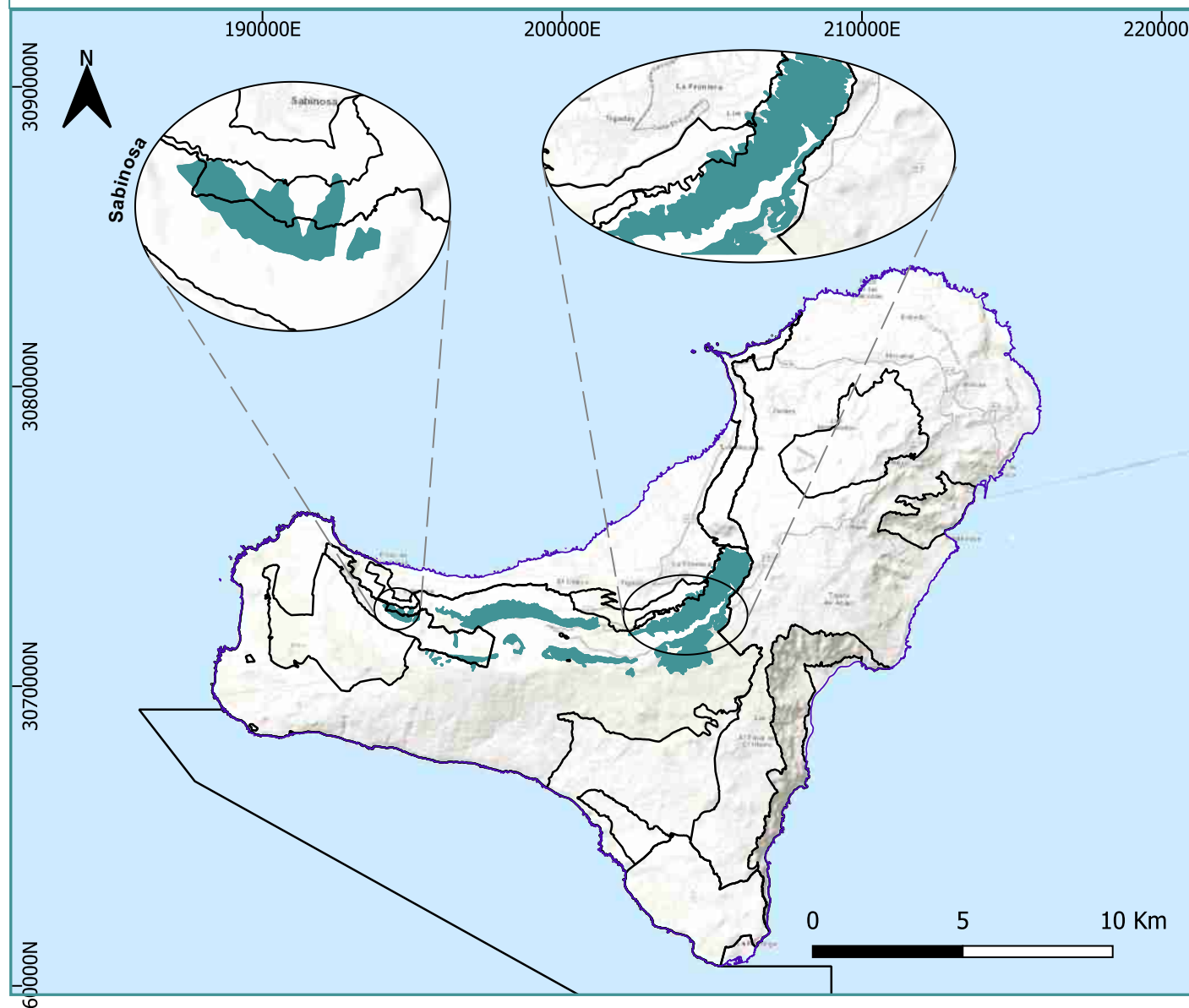


<https://natura2000.eea.europa.eu/sitecode=PTTER0017>

- Natura 2000
- 9360* - Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
436,08	51,4	7,68

El Hierro (Canary Islands)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : El Hierro

Total Area (ha): 27800

Natura 2000 Network



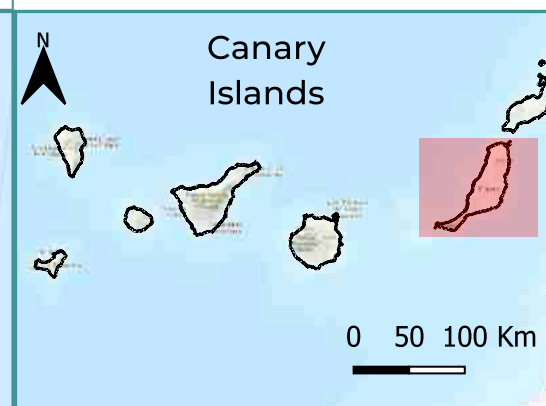
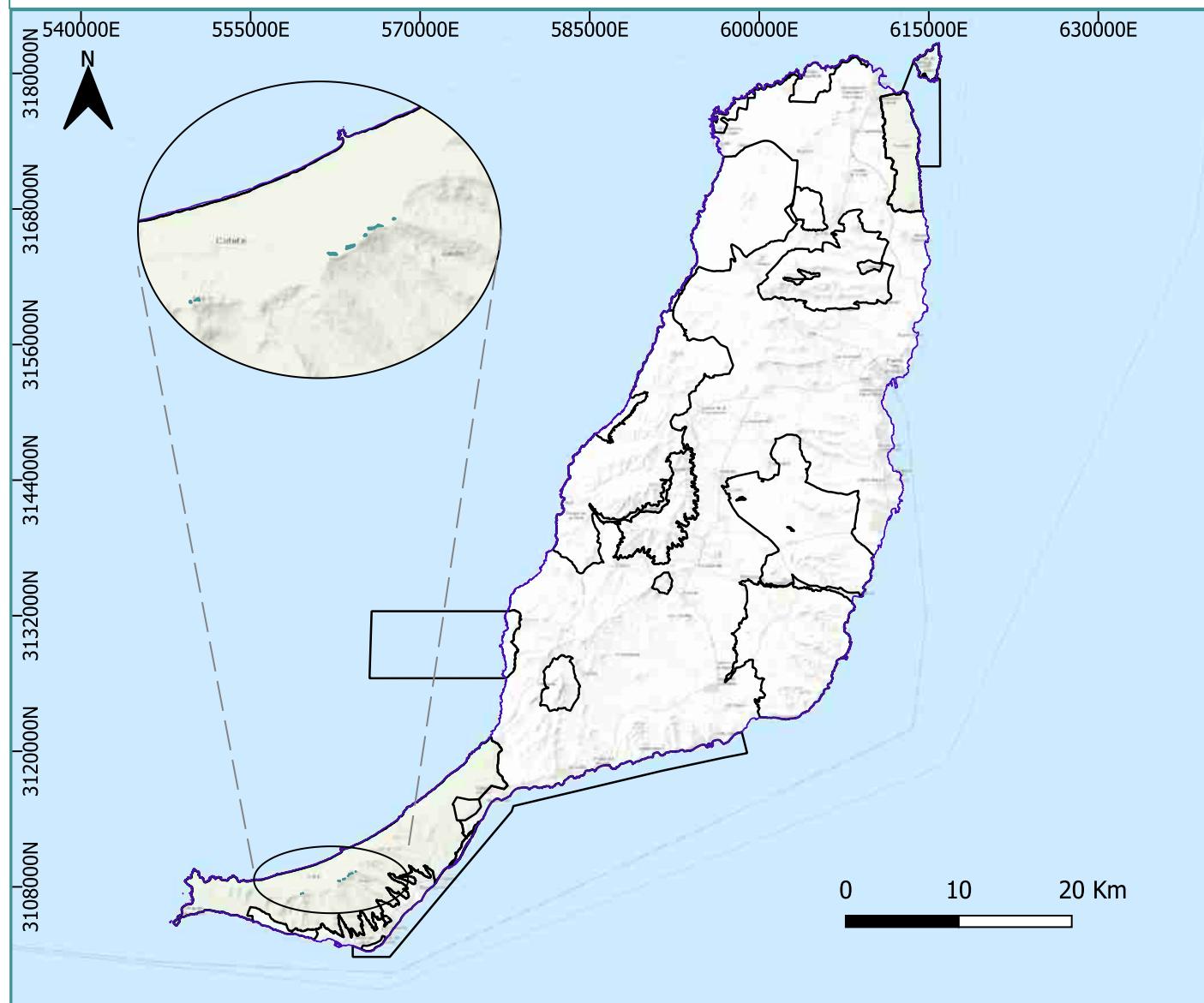
<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=ES7020001>

 Natura 2000

 9360 * Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
794,52	99,72	7,72

Fuerteventura (Canary Islands)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : Fuerteventura

Total Area (ha): 166000

Natura 2000 Network



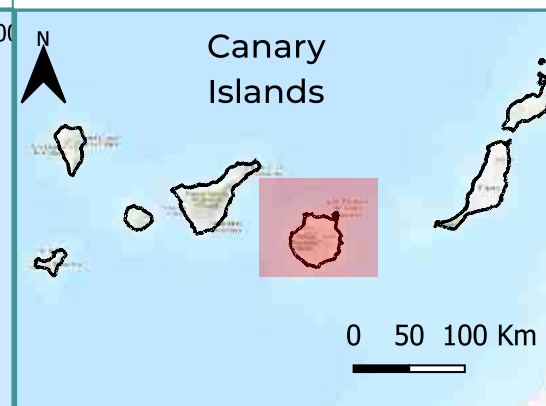
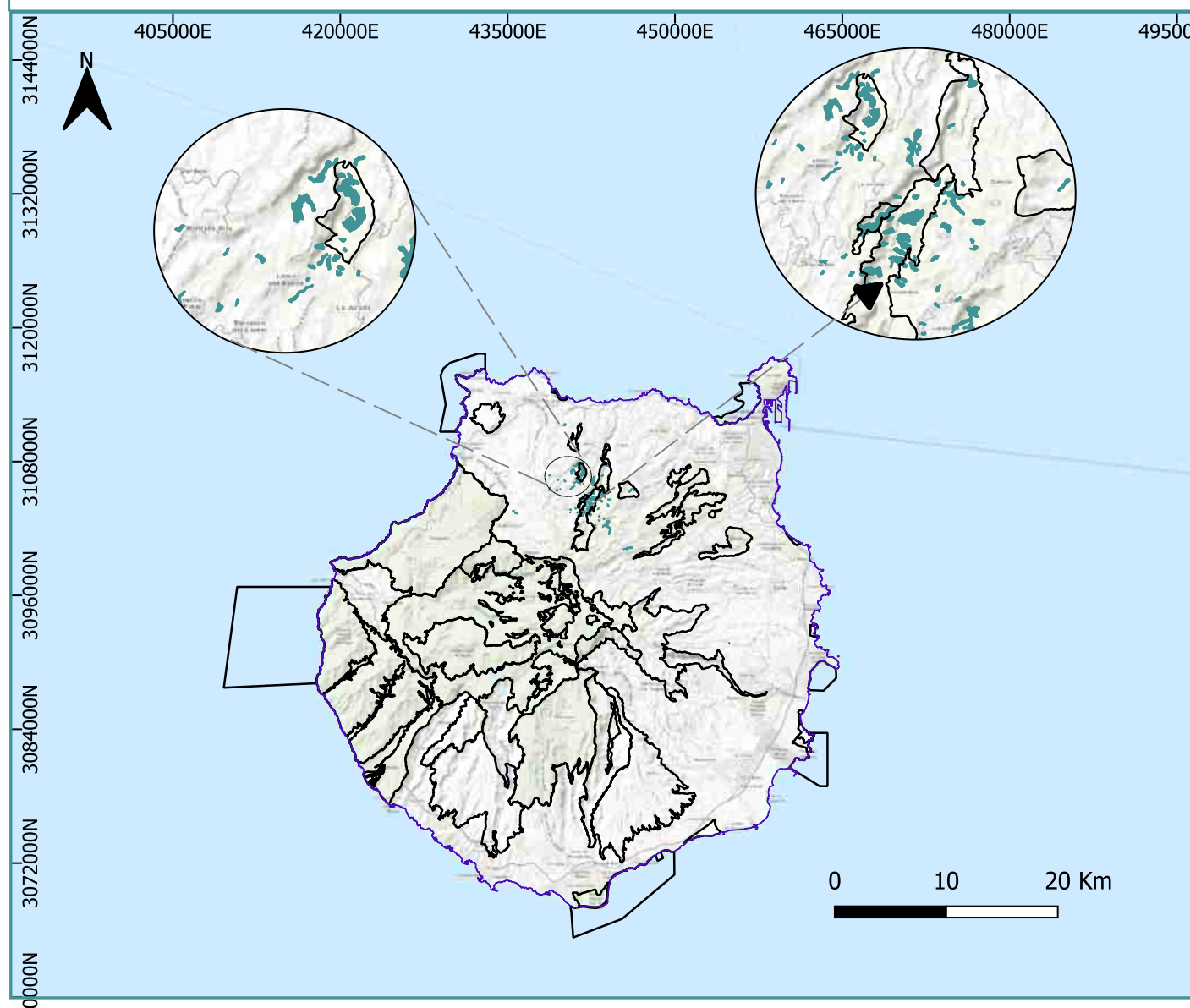
<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=ES0000039>

□ Natura 2000

■ 9360 * Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
4,51	100	0,04

Gran Canaria (Canary Islands)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : Gran Canaria

Total Area (ha): 156000

Natura 2000 Network



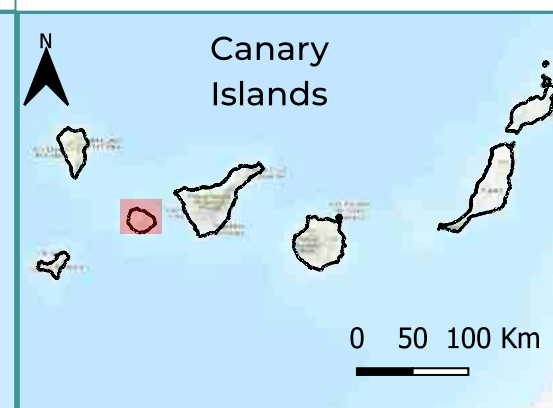
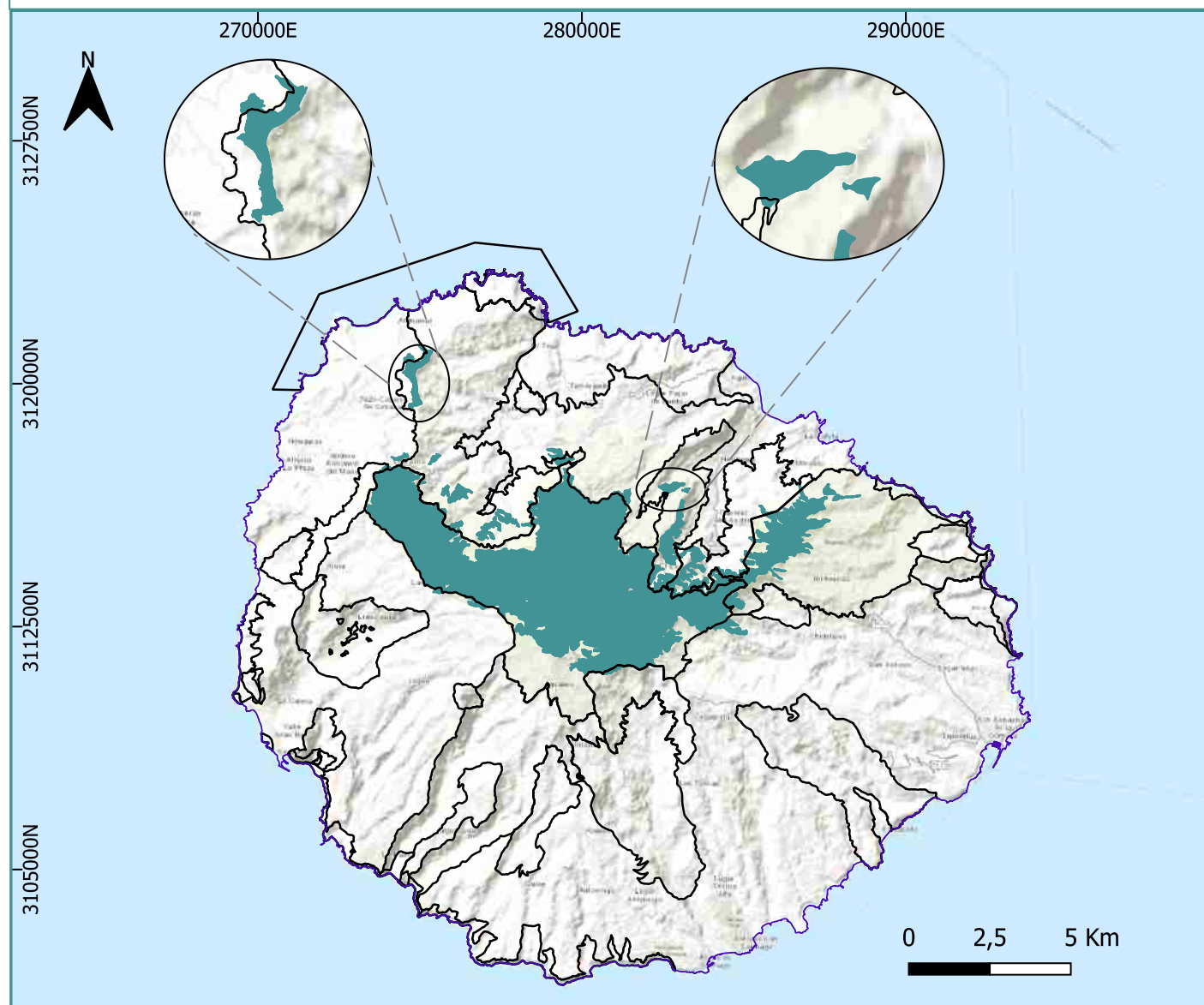
<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=ES7010004>

 Natura 2000

 9360 * Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
75,49	45,7	0,73

La Gomera (Canary Islands)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : La Gomera

Total Area (ha): 36980

Natura 2000 Network



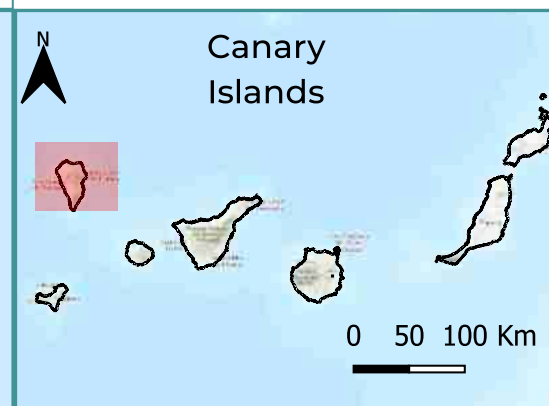
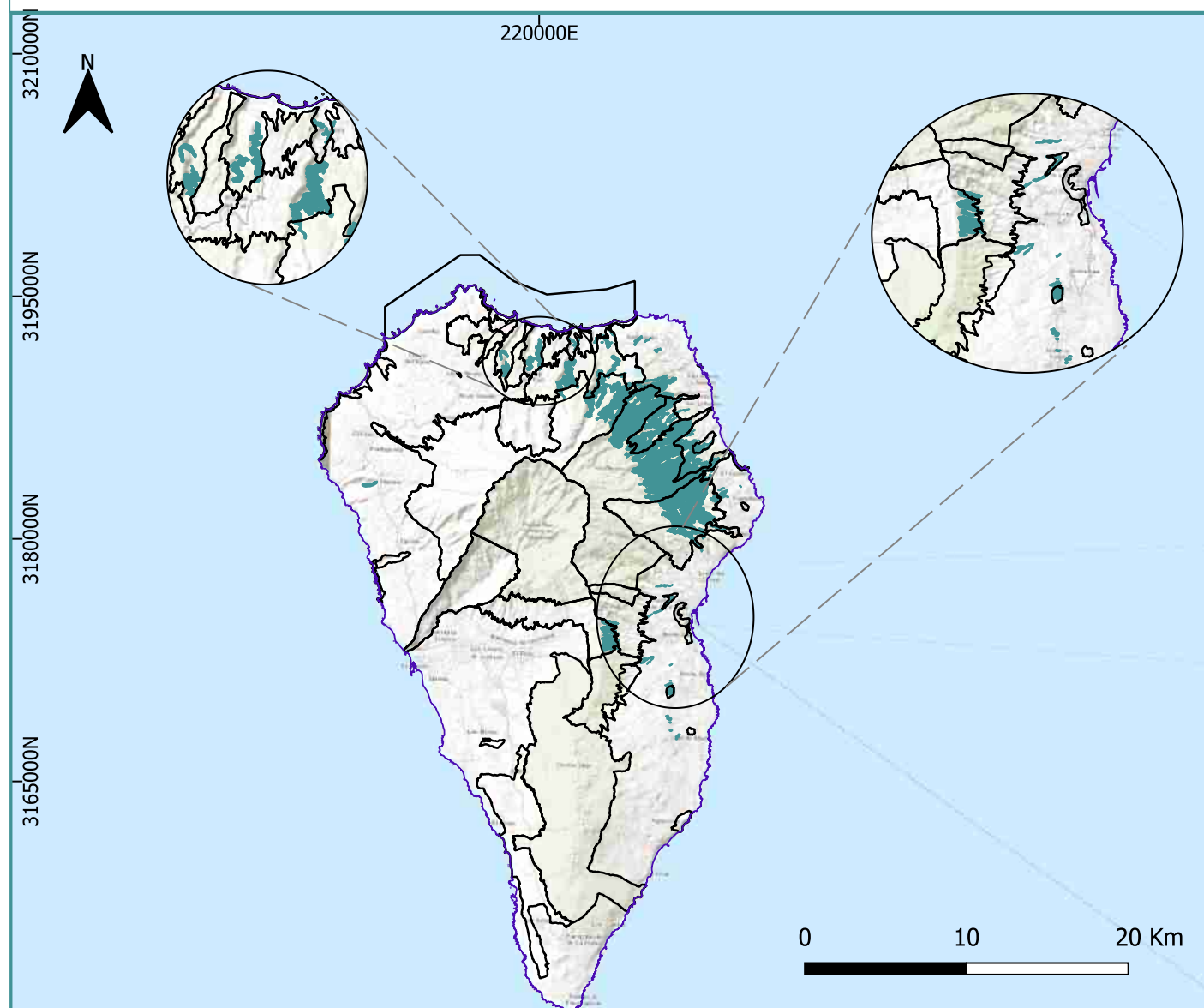
<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=ES0000044>

 Natura 2000

 9360 * Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to achipelago 9360 protected area
3594,12	98,04	34,93

La Palma (Canary Islands)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : La Palma

Total Area (ha): 70600

Natura 2000 Network



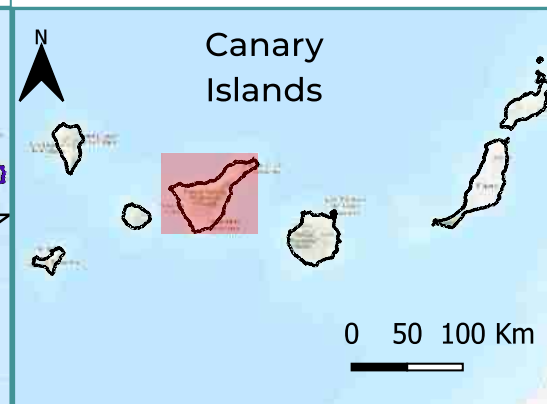
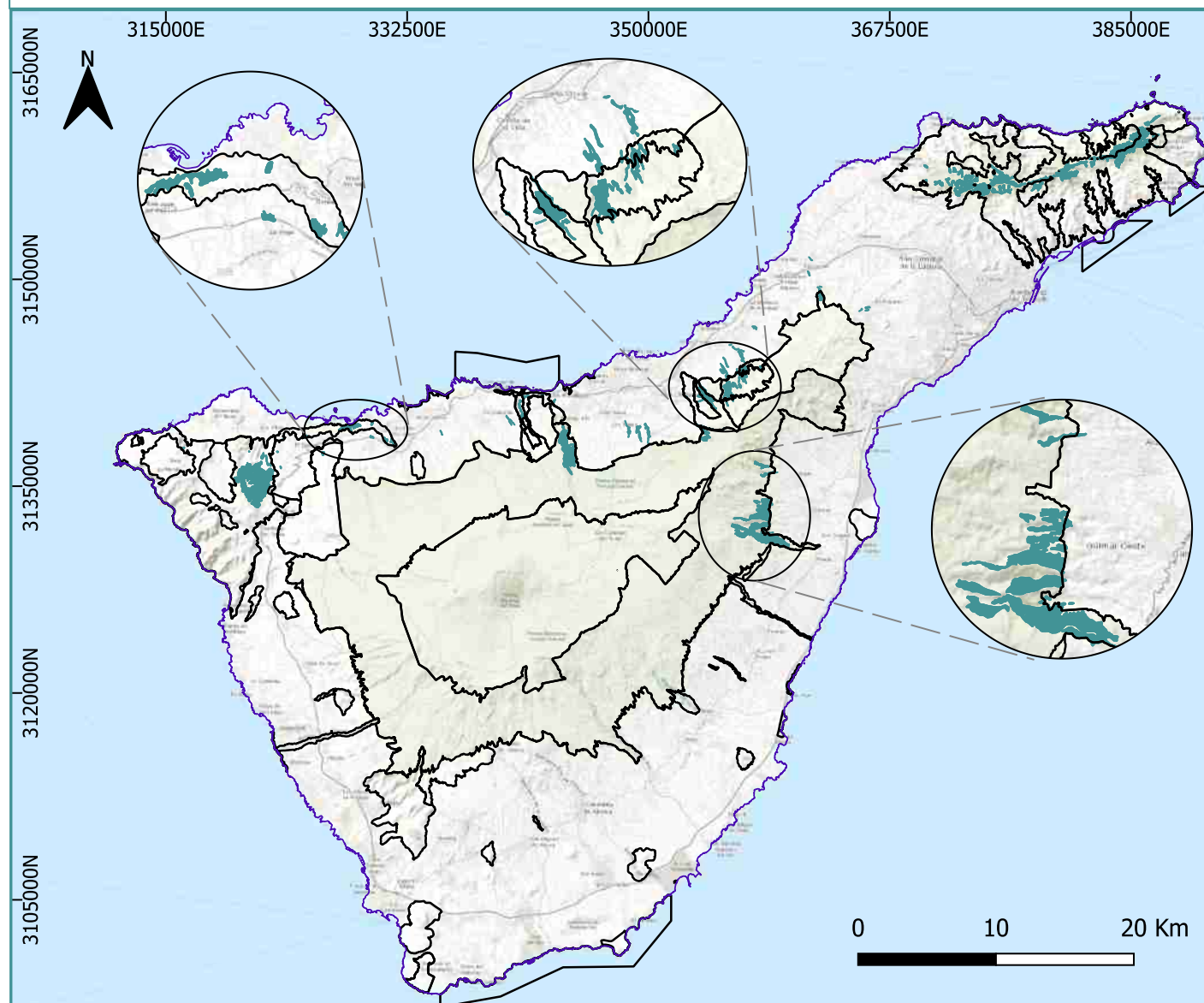
<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=ES0000114>

 Natura 2000

 9360 * Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
3235,73	89,14	31,45

Tenerife (Canary Islands)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : Tenerife

Total Area (ha): 203400

Natura 2000 Network



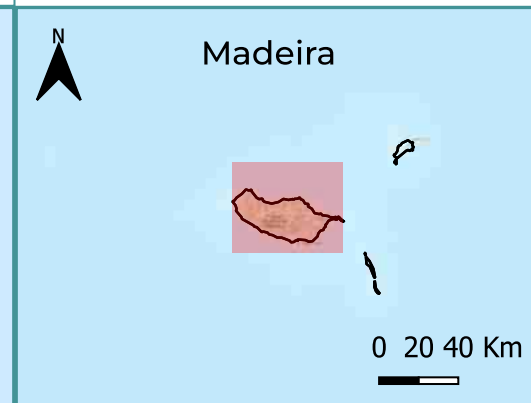
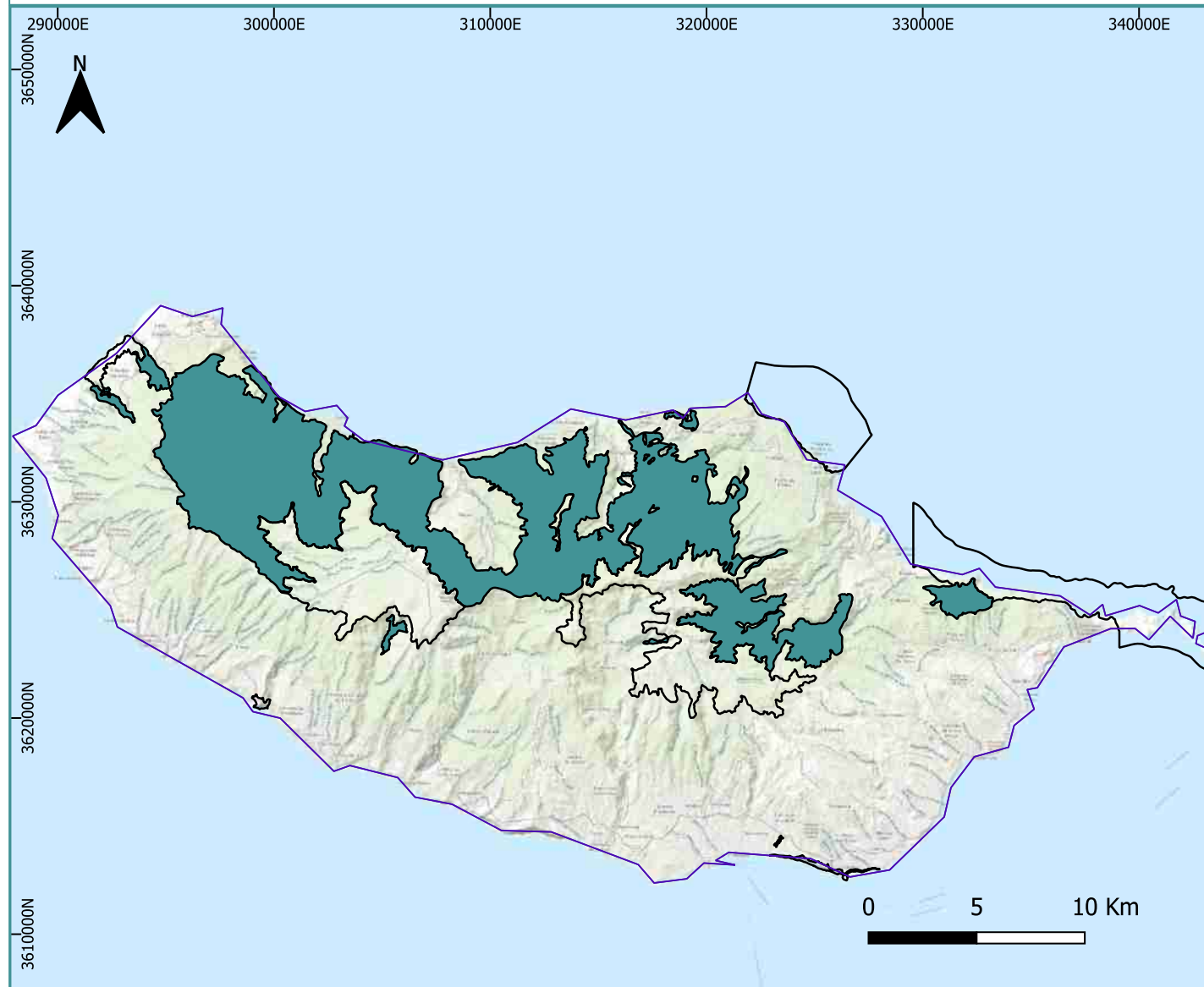
<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=ES0000109>

 Natura 2000

 9360 * Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
1904,95	94,01	18,52

Madeira (Madeira)



Projection: WGS 84 / UTM zone 28N

Island name : Madeira

Total Area (ha): 15462

Natura 2000 Network



<https://natura2000.eea.europa.eu/?sitecode=PTMAD0001>

□ Natura 2000

■ 9360* - Macaronesian laurel forests

9360 area protected (ha) in N2000	Percentage of island 9360 protected	Contribution (%) to archipelago 9360 protected area
15456,1	99,96	99,96

Administraciones archipelágicas al cuestionario sobre cómo se evaluó el área, la estructura y la función del hábitat 9360 para el informe del art. 17.

Pregunta	Administración de Azores	Administración de Madeira	Administración Canaria
¿Quién ha respondido?	Prof. Eduardo Dias	Carlos Lobo	Ángel Vera
¿Qué metodología fue usada para mapear las áreas ocupadas por el hábitat 9360?	La metodología de cartografía utilizada para los tres últimos informes se basó en la base de datos ATLÂNTIDA@GEVA y su respectivo proyecto SIG, que recopila inventarios de datos de campo geolocalizados y cartografía de campo desde principios de 1990. Esta información histórica, aunque no coherente en todo el territorio, funciona como una base comparativa para el mapeo reciente. De esta manera, se revisitan las áreas conocidas, se actualizan los datos y mapas de campo, pero ahora con más detalle utilizando teledetección. De manera similar, esta base de datos acumulativa permite el desarrollo de patrones y modelos de distribución que indican nuevas áreas que merecen ser mapeadas. La reciente evolución de la tecnología ha permitido el mapeo de nuevas áreas de difícil acceso, con un aumento en el detalle a través del uso de imágenes satelitales y de drones, confirmando nuevas áreas de distribución que posteriormente fueron objeto de trabajo de campo e inventarios. De esta manera y considerando el flujo de trabajo típico, una nueva área se inventarió primero según un formulario de campo estándar que responde a los criterios necesarios para completar el informe del anexo del art. 17, y que nos proporciona información sobre la florística, estructura y estado de conservación del HTCI. Los límites de la distribución 9360 se basan en la información proporcionada por imágenes de drones o satélites que luego se transforman en un primer mapeo local. La distribución y el grado de naturalización se confirman posteriormente mediante índices de vegetación. Los cambios en la matriz informativa que puedan implicar cambios en la tipología del hábitat o el grado de naturalización se confirman posteriormente mediante nuevos inventarios de campo.	La cartografía oficial de la laurisilva de Madeira del 9360 se creó en 1997 siguiendo el trabajo de Costa Neves <i>et al.</i>, (1996), quienes realizaron un exhaustivo trabajo de campo entre 1992 y 1995, recopilando datos de densidad, dominancia, frecuencia e importancia de los diferentes elementos que integran la composición florística de la laurisilva de Madeira. La información recopilada durante el trabajo de campo fue convertida a mapas por el Serviço do Atlas do Ambiente de Portugal de la Direção Geral do Ambiente (Costa Neves <i>et al.</i>, 1997). Esta cartografía ha sido utilizada para representar la distribución de la laurisilva en varios proyectos, incluidos los informes del artículo 17 de la Directiva Hábitats. Mesquita <i>et al.</i>, (2007) mapearon la vegetación actual de la isla de Madeira, donde se distinguen dos tipos de laurisilva: 1) laurisilva de Barbusano y 2) laurisilva de Til. Sin embargo, los autores reconocieron que los mapas publicados se fundamentaron en modelos climáticos (ombrotipo y termotipo) de Madeira y en otra información disponible, pero no incluyeron trabajo de campo adicional, aspecto que consideraron imprescindible para lograr un mapeo más preciso. La distribución de la laurisilva propuesta por estos autores es, en términos generales, similar a la de Costa Neves <i>et al.</i>, (1997), aunque con un área y rango más amplios, lo que podría explicarse por la introducción de las comunidades de <i>Erica platycodon</i> en el tipo de laurisilva de Barbusano; y <i>Erica platycodon maderincola</i> y <i>Vaccinium padifolium</i> en el tipo de laurisilva de Til.	La cartografía utilizada se basa en el Mapa de Vegetación de Canarias. Se han establecido correlaciones entre asociaciones fitosociológicas y tipos de hábitats de interés comunitario. Estas correlaciones han sido revisadas para situaciones anómalas, como el caso de las comunidades de leguminosas de Gran Canaria en áreas de distribución potencial de bosques de pino, dado que no tiene sentido designar estas comunidades de sustitución como hábitat 9360 para luego reconvertirlas en hábitat 9550.
¿Cuál fue la escala de trabajo?	Según la metodología mencionada, la escala de trabajo es muy detallada. Si el área está cubierta por una fotografía de dron, será de 100 m², o incluso más pequeña si está cubierta por satélite (Sentinel-2). Actualmente, debido a la fragmentación del territorio, el tamaño de los fragmentos es lo que limita la cartografía, ya que muchos parches son demasiado pequeños para ser considerados.	Partiendo de datos cualitativos y cuantitativos de la laurisilva de Madeira producidos por Costa Neves <i>et al.</i>, (1996), la escala utilizada fue de 1:100 000 (Costa Neves <i>et al.</i>, 1997).	La escala utilizada fue la escala de referencia del Mapa de Vegetación de Canarias, que es oficialmente de 1:20 000, pero trabajada aproximadamente a 1:18 000.

¿Ha considerado valores de referencia para el rango y el área ocupados?

Para los informes del Art. 17, Azores siempre ha utilizado la opción de un estimador para los valores de referencia, tanto para el rango como para la ocupación del área, dejando claro que los valores de referencia deben ser mayores o mucho mayores que el área actual. La alta diversidad de tipos de bosques, su distribución a lo largo de nueve islas (actualmente solo siete), la inexistencia de modelos de valores de referencia para el bosque de laurel y la dificultad para encontrar puntos de muestreo bien conservados, especialmente para los tipos de tierras bajas, crea un escenario muy complejo para obtener estos valores de referencia.

El trabajo desarrollado por Costa Neves *et al.*, (1996) permitió inferir el estado de conservación de la laurisilva de Madeira. Con pocas excepciones, los valores de referencia de este trabajo todavía se están utilizando. Para los informes del Art. 17 de la Directiva de Hábitats, los valores de referencia favorables (VRF) para el rango y el área se definen basándose en la cartografía existente del trabajo de Costa Neves *et al.*, (1996). Es importante señalar que, debido a la antigüedad de estos datos, es crucial reevaluar el área del hábitat con métodos más modernos y precisos, y se asume que los VRF de rango y área están basados en extrapolaciones de datos limitados.

El valor del área de ocurrencia, correspondiente a esta cartografía, es de 102,94 km². Se ha considerado que el valor de referencia favorable (VRF) para el HTCI 9360 es esta área, y así se ha informado en el [informe 2013-2018](#). Esta superficie corresponde a la distribución actual del HTCI 9360 en Canarias, y considerando su importancia y carácter prioritario, no debería considerarse un área inferior como VRF. No obstante, debe considerarse que la estimación del área de distribución a una resolución de cuadrícula de 1 km de lado produce una superficie de 438 km², lo que significa que el VRF debe correlacionarse con una resolución específica.

Sobre estructura y función

¿Qué metodologías está utilizando actualmente para la evaluación de la estructura y función del 9360 y cuáles se han utilizado para el informe del Art. 17 de 2018?

La estructura vertical y la organización espacial se establecieron mediante mediciones cuantitativas para cada 9360 identificado, utilizando los 45 inventarios de biovolumen por especie de Dias (1996), estableciendo un patrón para cada tipo de bosque azoriano. En inventarios más recientes, hemos utilizado la altura de las especies arbóreas del dosel. La estructura horizontal, que se ha medido en algunos grupos de árboles como forma de monitorear el estado de conservación, se estimó mediante fotogrametría en parcelas permanentes.

Los procesos dinámicos han sido principalmente estudiados en la laurisilva de montaña (Elias and Dias, 2008, 2009), asociados con procesos climáticos naturales o volcánicos. En las tierras bajas, el avance de especies leñosas invasoras como *Pittosporum undulatum* o *Clethra arborea* debido a la destrucción del bosque natural son las mayores amenazas para los parches existentes a esta elevación. En este contexto, para el informe del Art. 17, se utilizó un modelo de identificación basado en la firma espectral utilizando métodos de teledetección para analizar el avance de *Pittosporum*, lo que permite la cuantificación de la cobertura de esta especie en los bosques 9360. Asimismo, se han utilizado diferentes índices de vegetación (especialmente el NDVI) comparando sus valores con los de grupos de árboles de referencia bien conservados.

Considerando estos parámetros y los del siguiente punto (especies dominantes), los inventarios de campo han sido clasificados según su grado de naturalidad con un índice que intenta evaluar el estado de conservación basado en estudios ecológicos de comunidades de referencia. Para los primeros informes, utilizamos el índice de naturalidad (IN), desarrollado con este fin, que utiliza las tipologías de amenazas detectadas para los bosques azorianos, variando de 0 (menos natural) a 4 (más natural). Recientemente, este índice se ha mejorado introduciendo una evaluación cuantitativa de algunos parámetros y retomando algunos más antiguos sugeridos por Machado (2004), variando en una escala de 1 (menos natural) a 10 (más natural).

Los lugares mapeados del bosque se clasifican utilizando el Índice de Naturalidad (IN) de los inventarios de campo o de especies invasoras (imágenes satelitales o de drones) cuando su cobertura es tan significativa que domina sobre otros atributos de la comunidad.

En el último informe del Artículo 17, los parámetros de Estructura y Función fueron presentados sin datos.

En 2018, no se disponía de nueva información para este parámetro, por lo que decidimos mantener los valores previos. Actualmente, se están llevando a cabo nuevas tareas para obtener, a través de teledetección, indicadores indirectos del estado funcional de los hábitats. Este trabajo se centra en el uso de índices de vegetación (como NDVI, EVI, etc.), especialmente en cómo varían con el tiempo (tanto mensual como anualmente). Esperamos poder contar con un sistema que contribuya con análisis que generen y detecten cambios abruptos en las tendencias (alertas). Esta metodología está en fase de desarrollo.

En cuanto a la estructura, se han realizado inventarios de campo que proporcionan información sobre la cobertura por estratos y el número de individuos de las especies presentes en las comunidades analizadas. En el caso del hábitat 9360, también hemos realizado un análisis preliminar de fragmentación que puede ser un proyecto piloto para otros hábitats naturales de interés comunitario.

¿Has seleccionado especies típicas?
En caso afirmativo, ¿cuáles han sido los criterios para esa selección?

La selección de especies típicas es un problema complejo, especialmente en un bosque con una tipología tan diversa. Clásicamente, debemos elegir entre las dos grandes escuelas fitosociológicas que difieren en el uso de especies dominantes o representativas. Sin embargo, las islas suelen tener especies generalistas con bajo valor representativo. Por otro lado, la alta diversidad tipológica de estos bosques dificulta la elección de un grupo de especies.

De esta manera, para el informe del Art. 17, hemos utilizado las especies dominantes como las típicas, definiendo los subtipos azorianos del hábitat 9360. Los escenarios de referencia se basan en las tipologías forestales azorianas determinadas con datos cuantitativos (Dias, 1996) y en las tablas sintaxonómicas que las sostienen con una base florística, actualizadas con el trabajo de campo realizado en diferentes lugares. Como se mencionó, estos inventarios cuentan con un archivo normalizado que incluye un inventario florístico (relevé). Siguiendo la metodología descrita, su análisis permite la extracción de las especies típicas.

En el último informe del Artículo 17, los parámetros de Estructura y Función fueron presentados sin datos.

No se han seleccionado especies típicas por parte de la administración regional debido a la falta de criterios con un sólido respaldo científico.

Anexo 7 Respuesta de las administraciones regionales al cuestionario sobre cómo se evaluaron las presiones y amenazas del 9360 para el informe en virtud del artículo 17.

Pregunta	Administración de Azores	Administración de Madeira	Administración Canaria
¿Quién ha respondido?	Prof. Eduardo Dias & Prof. Paulo Borges	Carlos Lobo	Ángel Vera
¿Qué metodología fue usada para mapear las áreas ocupadas por el hábitat 9360?	En cuanto a las Azores, contamos con una publicación que determina el nivel de “DISTURBIO” para las diferentes islas. Seguimos una metodología que utiliza múltiples fuentes de información, ajustadas para las diversas presiones potenciales, las cuales se recopilan en una base de datos central durante el período de monitoreo y luego se consolidan y sintetizan para el informe final. Estos programas de recolección se adaptan para cada parámetro, lo que en algunos casos puede resultar en la cuantificación de la intensidad en cada parche de vegetación, o al menos, evaluar su frecuencia en todo el archipiélago de las Azores. Estos valores, ponderados por área, luego se comparan con los de Madeira para proporcionar los resultados finales, dado que el Informe Nacional de Portugal incluye ambos archipiélagos y este hábitat es común a ambos. Algunas de las presiones son bien conocidas, por lo que existen metodologías dedicadas para evaluar su alcance, pero se mantiene un programa abierto para evaluar y considerar nuevas posibles presiones. La presión sobre el tamaño de las áreas forestales, como el cambio de uso del suelo, ya sea por medios mecanizados o tala de árboles, se monitorea utilizando cartografía basada en teledetección. El estado general de la calidad del hábitat se monitorea mediante teledetección para cada parche, donde se ha establecido un estado estándar para diferentes índices como el NDVI de cada parche. Las variaciones en este estado son indicadores potenciales de cambios que deben investigarse en el terreno. La teledetección, como la firma espectral asociada a algunas especies dominantes como el laurel (<i>Laurus</i>), se utiliza para evaluar cambios en el dosel forestal. De manera similar, la firma espectral de algunas especies invasoras que alcanzan el dosel exterior (como el <i>Pittosporum</i>) se utiliza también para evaluar su presencia y evolución a lo largo del tiempo. A escala local, se recopila nueva información en formularios estandarizados sobre las presiones, siguiendo la discriminación inicial de las presiones enumeradas en la base de datos del informe del Artículo 17: se realiza un inventario cuantitativo de especies invasoras, se lleva a cabo un análisis estructural para evaluar los cambios estructurales (generalmente debido a la presencia de ganado), y se evalúan signos de presencia animal —como vacas, cabras, conejos— contando excrementos y recolectando hojas para detectar plagas. En cada localización de inventario, también se evalúan los cambios en el régimen hidrológico mediante la evaluación de madera muerta y signos de inundación a lo largo de los márgenes de los cursos de agua.	La cartografía oficial de la laurisilva de MadeiraLa selección de presiones y amenazas para la Laurisilva no se basó en una metodología específica, sino en el conocimiento de campo de especialistas y técnicos, combinado con información de diversas publicaciones. Este conocimiento fue fundamental para enumerar las principales presiones y amenazas que afectan a la Laurisilva en el informe.	La Comunidad Autónoma de Canarias aún no ha desarrollado un registro general y sistemático de las presiones y amenazas que afectan a los hábitats naturales y especies en el archipiélago. Esta situación representa una debilidad para la administración pública en términos del potencial uso y aprovechamiento de la información sobre este tema, especialmente en cuanto a cómo podría apoyar la planificación y gestión de las áreas que forman parte de Natura 2000 en el archipiélago. Existe alguna información sobre este tema, obtenida a partir de diversas metodologías, referente a diferentes áreas geográficas, relacionada con diversas fuentes y con referencias cronológicas heterogéneas. Sin embargo, aún no se ha abordado la sistematización de esta información ni la homogeneidad en los aspectos mencionados: método, áreas y periodicidad. Actualmente, esta situación dificulta en gran medida la gestión y utilización de la información existente.

Se buscan problemas funcionales y el estado general de conservación, pistas de la presencia de presiones no identificadas, en comunidades particularmente sensibles, como la estructura y distribución de epífilas. Evidentemente, se observan cambios detectables, como la apertura de caminos o senderos, construcción de estructuras o tala de árboles, a través de un inventario dedicado a estas presiones.

Para impactos más globales y cambios menos perceptibles, como el cambio climático, se han mantenido 9 parcelas permanentes durante 15 años en 3 islas, que se monitorean cada 6 años para comparar los resultados con la situación de referencia (2006), con cuantificación de la estructura florística, estructura del suelo, avance de especies invasoras y estructura del dosel a través de la caída de ramas.

¿Hay algún documento o referencia bibliográfica que refleje esta metodología?

Todos los períodos para los cuales fuimos contratados para implementar la metodología resultaron en la entrega de informes descriptivos sobre las metodologías aplicadas a la Dirección Regional del Medio Ambiente. Cardoso, P., Rigal, F., Fattorini, S., Terzopoulou, S. & Borges, P.A.V. (2013). Integrating Landscape Disturbance and Indicator Species in Conservation Studies. PLoS ONE, 8: e63294. DOI:10.1371/journal.pone.0063294

No

No

¿Conoces alguna otra metodología o experiencia para evaluar presiones y amenazas que sería útil para los bosques de laurisilva?

No se realizó ningún trabajo en este sentido debido a la singularidad y especificidad de este hábitat en las Azores. Algunas de las presiones identificadas como con un mayor impacto, como la presencia de grandes vertebrados o el herbivorismo de conejos en estos bosques, no se consideran negativas en áreas continentales.

Aunque la Laurisilva de Madeira aún no ha sido objeto de un estudio específico para clasificar y mapear sus presiones y amenazas, existen algunos estudios que permiten evaluar la importancia de ciertas circunstancias como presiones y amenazas: Rodrigues, A.A. F. (2013). Assessing Impacts from Future Climatic Scenarios on the Distribution of Flora and Vegetation at Madeira Island (Doctoral dissertation, Universidade de Coimbra (Portugal)) Gouveia, C. S.A. (2014). Predicting the impacts of climate change on the distribution and conservation of endemic forest land snails of Madeira Island (Master's thesis).

CLIMA AT, I. (2006). Estudo Detalhado Sobre o Clima do Arquipélago da Madeira, Produção de Cartografia Climática, Construção de Cenários Climáticos Futuros e Realização de Estudos de Impacte e Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas em Vários Sectores de Actividade. [FD Santos e R. Aguiar, Eds.]. Projecto CLIMAAT II—Clima e Meteorologia dos Arquipélagos Atlânticos II, Programa de Iniciativa Comunitária INTERREG III B, Espaço Açores—Madeira—Canárias. ICAT, Lisboa.

Agrela, S.A. M. D. (2017). Carta de risco de incêndio florestal para o Parque Natural na Ilha da Madeira (Master's thesis).

PROF-RAM (2015). Plano Regional de Ordenamento Florestal da Região Autónoma da Madeira. Direção Regional de Florestas e Conservação da Natureza, Funchal, Madeira.

PLANES DE GESTIÓN PARA LAS ÁREAS ESPECIALES DE CONSERVACIÓN (SAC)

Entre estas fuentes, destacan los planes de gestión. En el momento de su redacción, se recopiló y evaluó el conjunto de presiones y amenazas que afectan a cada hábitat o especie sujeta a conservación en cada SAC. Hasta ahora, los planes de gestión aprobados han incluido una sección sobre “Evaluación y estado de conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario y especies Natura 2000”. Esta sección aborda cada hábitat y especie por separado, enumerando las presiones y amenazas y su importancia en cada área cubierta por estos planes de gestión. Para facilitar la estandarización, la clasificación de presiones y amenazas se realiza de acuerdo con la Decisión de Ejecución de la Comisión 2011/484/UE de 11 de julio de 2011 sobre el formulario de información de los lugares de la Red Natura 2000 [DO L 198, 30 de julio de 2011]. La desventaja de la información recogida en los planes de gestión es su antigüedad, ya que data de la redacción de estos planes, alrededor de 2015. Requiere actualización.

USO PÚBLICO EN ÁREAS COSTERAS

Para analizar el impacto del uso público en especies protegidas y hábitats de interés comunitario en las áreas costeras de las Islas Canarias, se lanzó un proyecto cofinanciado con fondos FEDER. Se recopiló información sobre el flujo de usuarios, actividades e impactos detectados en 20 localidades costeras de cada isla (10 en el caso de El Hierro, La Gomera y La Palma). El trabajo se llevó a cabo a lo largo de tres líneas de acción: recopilación de datos de campo, análisis del estado de conservación de hábitats y especies, y finalmente, propuesta de medidas de gestión.

Mota, L., Franco, M., & Santos, R. (2021). Island tourism carrying capacity in the UNESCO Site Laurisilva of Madeira. *Island Studies Journal*, 16(2), 255-269.

Vasconcelos, F. R. E. V. D. (2015). *Avaliação da vulnerabilidade da biodiversidade terrestre às alterações climáticas e proposta de medidas de adaptação para o Arquipélago da Madeira* (Master's thesis).

Para la recopilación de datos, se realizaron 640 visitas de dos horas cada una a cada localidad, en horas de mañana, tarde y noche. Utilizando una aplicación de software, se registraron datos generales de las áreas de estudio, presencia de especies y hábitats de interés comunitario, actividades realizadas (pesca, deportes, acampada, vehículos, etc.), número de personas, así como registros fotográficos e impactos georreferenciados (residuos, vertidos, especies exóticas, pisoteo, etc.).

El estudio de los datos recopilados permitió realizar un análisis detallado del estado de conservación de los hábitats de interés comunitario presentes, por localidad e isla. Con base en esto, se desarrollaron medidas y propuestas de gestión para cada área de estudio, priorizadas según los problemas, orientadas a revertir situaciones desfavorables. El proyecto comenzó en 2018 con las islas de Tenerife, Gran Canaria y Fuerteventura, Lanzarote se añadió en 2019, y el trabajo para El Hierro, La Gomera y La Palma se llevó a cabo en el período 2020-2021.

¿Cuáles son las presiones y amenazas más importantes que afectan a los bosques de laurisilva en tus islas/archipiélago?

“Fragmentation, invasive species and climate change. (Ferreira, M.T., Cardoso, P., Borges, P.A.V., Gabriel, R., Azevedo, E.B., Reis, F., Araújo, M.B. & Elias, R.B. (2016). Effects of climate change on the distribution of indigenous species in oceanic islands (Azores). *Climatic Change*, 138: 603-615. DOI:10.1007/s10584-016-1754-6

Ferreira, M.T., Cardoso, P., Borges, P.A.V., Gabriel, R., Azevedo, E.B. & Elias, R.B. (2019). Implications of climate change to the design of protected areas: the case of small islands (Azores). *PlosOne*, 14(6): e0218168. DOI: 10.1371/journal.pone.0218168

Aparício, B.A., Cascalho, J., Cruz, M.J., Borges, P.A.V., Azevedo, E.B., Elias, R.B. & Ascensão, F. (2018). Assessing the landscape functional connectivity using movement maps: a case study with endemic Azorean insects. *Journal of Insect Conservation*, 22: 257-265. DOI:10.1007/s10841-018-0059-7)

Obviamente, la mayor presión que sigue observándose es la ocupación de áreas de bosque natural por tierras agrícolas. La segunda presión y amenaza más importante, que probablemente conducirá a la destrucción de todos los parches en el futuro, es el avance de especies invasoras de árboles como el *Pittosporum*. La tercera, con fuertes impactos en la biodiversidad y la estructura forestal, es la presencia de conejos y su impacto en especies que son fuente de alimento. Las presiones resultantes de lo anterior, como la fragmentación, la pérdida de biodiversidad e incluso la extinción de tipologías, también son importantes.

Según el último informe del Artículo 17, las presiones y amenazas que más afectan a la Laurisilva son las siguientes:

Presiones ALTA:

1. Especies exóticas invasoras de interés de la Unión Europea (I01)
2. Relaciones interespecíficas (competencia, predación, parasitismo, patógenos) (L06)

Presiones MEDIO:

1. Modificación del flujo hidrológico o alteración física de cuerpos de agua para la agricultura (excluyendo el desarrollo y operación de presas) (A33)
2. Desarrollo y operación de presas para la agricultura (A32)
3. Extracciones activas de aguas subterráneas, superficiales o mixtas para la agricultura (A30)

Amenazas ALTA:

1. Especies exóticas invasoras de interés de la Unión Europea (I01)
2. Modificación del flujo hidrológico o alteración física de cuerpos de agua para la agricultura (excluyendo el desarrollo y operación de presas) (A33)
3. Extracciones activas de aguas subterráneas, superficiales o mixtas para la agricultura (A30)
4. Sequías y disminución de la precipitación debido al cambio climático (N02)

Amenazas MEDIO:

1. Desarrollo y operación de presas para la agricultura (A32)
2. Relaciones interespecíficas (competencia, predación, parasitismo, patógenos) (L06)
3. Cambios de temperatura (por ejemplo, aumento de la temperatura y extremos) debido al cambio climático (N01)

MONITOREO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

Basado en la metodología utilizada en la iniciativa anterior, se lanzó en 2020 el “Proyecto Experimental para el Monitoreo y Registro de la Información sobre el Estado de Conservación de Hábitats de Interés Comunitario y Hábitats de Especies de Interés Comunitario, con Especial Atención a la Red Natura 2000”. Este proyecto también está enmarcado dentro del Programa Operativo FEDER para las Islas Canarias (2014-2020). En esta ocasión, el objetivo no solo fue comprender los impactos asociados con las actividades humanas en el medio ambiente natural, sino también detectar cambios que ocurren en hábitats y especies como consecuencia del cambio climático. Se realizaron estudios de campo utilizando transectos georreferenciados e inventarios en parcelas de 20x20 metros que se repiten periódicamente para seguir su evolución a lo largo del tiempo.

El proyecto tiene como objetivo cubrir no solo áreas costeras, sino también la mayor superficie posible de cada isla, desde la costa hasta la cumbre y a través de todas las pendientes, tanto dentro como fuera de la red Natura 2000. Con esta recopilación de datos iniciada en las islas periféricas y continuada en 2023 con la incorporación de Tenerife y Gran Canaria, se establece una línea base de conocimiento que servirá como referencia para el monitoreo futuro.

**¿Tienes
algún mapa
relacionado
con las
presiones y
amenazas
existentes?**

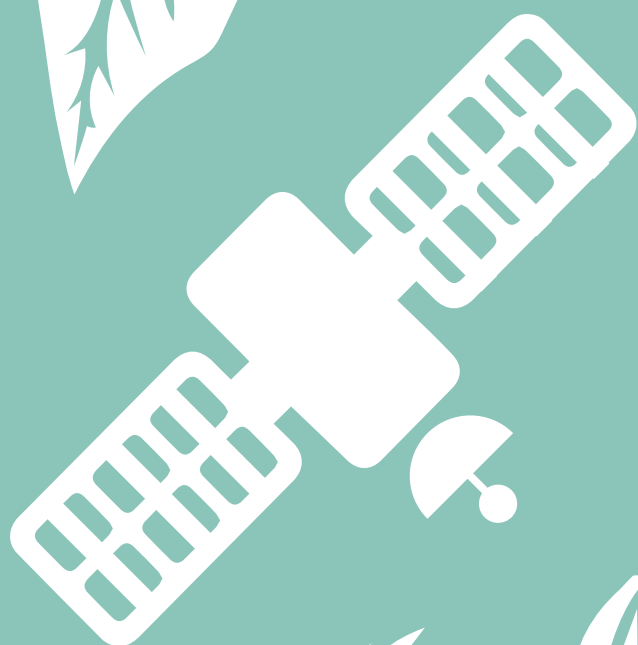
Se han producido mapas para algunas variables, como el cambio de uso del suelo y la distribución de algunas especies invasoras. En otros casos, la distribución es ad hoc, aunque se ha cartografiado su presencia. En otras situaciones, esto no se ha realizado, o no son mapeables.

La Laurisilva aún no ha sido objeto de un estudio específico para clasificar y mapear sus presiones y amenazas. Por lo tanto, no hay cartografía disponible. Sin embargo, el Plan Regional de Gestión Forestal de la Región Autónoma de Madeira (PROF-RAM), un instrumento de política sectorial que tiene como objetivo garantizar la gestión sostenible de las áreas forestales de Madeira, incluye varios mapas de caracterización y marco de las áreas forestales de Madeira, algunos de los cuales nos permiten inferir la importancia de ciertas presiones o amenazas para la Laurisilva.

TENDENCIAS EN HÁBITATS ÁRBOREOS Y ARBUSTIVOS

En los últimos años, se ha desarrollado un proceso paralelo para analizar las tendencias de los hábitats naturales de tipo arbóreo y arbustivo utilizando indicadores remotos, específicamente el Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Esto facilitará la detección de cambios en la actividad vegetativa de ciertos hábitats arbóreos y arbustivos, y consecuentemente, los posibles efectos de presiones y amenazas sobre ellos. Para abordar esta capacidad de detección, se han analizado los valores medios y la variación de este índice por subtipos de hábitats, períodos estacionales y grupos de años para áreas de referencia. De esta manera, cada subtipo de hábitat analizado cuenta con umbrales que distinguen los valores correspondientes a situaciones normales de los de situaciones anómalas. Aunque bastante avanzado, este proceso aún está en desarrollo.

La intención del Gobierno de Canarias es implementar y desarrollar estos sistemas bajo estandarización, siguiendo la lista de referencia de amenazas, presiones y actividades disponibles en el Portal de Referencia Natura 2000 (de acuerdo con la Decisión de Ejecución de la Comisión del 11 de julio de 2011, sobre el formulario de información del sitio Natura 2000 [notificado bajo el documento número C (2011) 4892]). Se debe promover la participación de todos los gestores de sitios Natura 2000 (consejos insulares y parques nacionales no delegados) y la implementación de sistemas de detección fuera de la red europea que afecten a los valores naturales de interés comunitario. De este modo, se lograría una recopilación estandarizada de presiones y amenazas con expresión cartográfica e información alfanumérica asociada disponible públicamente.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO