

INFORME DE RESULTADOS DE
ESTADO, TENDENCIAS Y
ANOMALIAS DE LA
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA
EN LA RED DE PARQUES
NACIONALES.

2021

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS | 4 |
| 1.1. REMOTE: Aplicación para el seguimiento en la Red de Parques Nacionales. | 4 |
| 2. AREA DE ESTUDIO..... | 6 |
| 2.1. PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI | 9 |
| 2.2. PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS | 10 |
| 2.3. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA | 11 |
| 2.4. PARQUE NACIONAL DE LA CALDERA DE TABURIENTE..... | 12 |
| 2.5. PARQUE NACIONAL DE DOÑANA..... | 13 |
| 2.6. PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY | 14 |
| 2.7. PARQUE NACIONAL DE GUADARRAMA..... | 15 |
| 2.8. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA | 16 |
| 2.9. PARQUE NACIONAL DE MONFRAGÜE | 17 |
| 2.10. PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO | 18 |
| 2.11. PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA | 19 |
| 2.12. PARQUE NACIONAL DE SIERRA DE LAS NIEVES | 20 |
| 2.13. PARQUE NACIONAL DE SIERRA NEVADA | 21 |
| 2.14. PARQUE NACIONAL DE TABLAS DE DAIMIEL | 22 |
| 2.15. PARQUE NACIONAL DEL TEIDE..... | 23 |
| 2.16. PARQUE NACIONAL DE TIMANFAYA | 24 |
| 3. METODOLOGÍA Y MATERIALES..... | 26 |
| 3.1. PRODUCTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA REMOTE. | 26 |
| 3.2. ÍNDICES DE TELEDETECCIÓN UTILIZADOS | 27 |
| 3.3. PREPROCESADO DE LAS IMÁGENES SATÉLITALES DEL SISTEMA REMOTE | 27 |
| 3.3.1. Preprocesado de las imágenes Landsat..... | 27 |
| 3.3.2. Preprocesado de las imágenes MODIS | 28 |
| 3.3.3. Preprocesado de las imágenes Sentinel 2 | 29 |
| 3.3.4. Preprocesado de los productos de CMEMS (CHL y SST) | 29 |
| 3.3. COMPARATIVA SISTEMA REMOTE MODIS CON SISTEMA REMOTE LANDSAT..... | 31 |
| 3.4. INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS | 32 |
| 3.5. PAUTAS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS | 34 |
| 3.5.1. Condiciones de referencia..... | 34 |
| 3.5.2. Tendencias | 35 |
| 3.5.3. Anomalías..... | 35 |
| 4. RESULTADOS | 36 |
| 4.1. PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI | 36 |
| 4.2. PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS | 44 |



| | |
|---|------------|
| 4.3. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA | 51 |
| 4.4. PARQUE NACIONAL DE LA CALDERA DE TABURIENTE | 61 |
| 4.5. PARQUE NACIONAL DE DOÑANA | 67 |
| 4.6. PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY | 74 |
| 4.7. PARQUE NACIONAL DE GUADARRAMA | 80 |
| 4.8. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS | 87 |
| 4.9. PARQUE NACIONAL DE MONFRAGÜE | 99 |
| 4.10. PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO | 105 |
| 4.11. PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA..... | 112 |
| 4.12. PARQUE NACIONAL DE SIERRA DE LAS NIEVES..... | 119 |
| 4.13. PARQUE NACIONAL DE SIERRA NEVADA..... | 126 |
| 4.14. PARQUE NACIONAL DE TABLAS DE DAIMIEL..... | 132 |
| 4.15. PARQUE NACIONAL DE TEIDE..... | 139 |
| 4.16. PARQUE NACIONAL DE TIMANFAYA | 145 |
| 5. CONCLUSIONES | 152 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA..... | 153 |

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. REMOTE: APLICACIÓN PARA EL SEGUIMIENTO EN LA RED DE PARQUES NACIONALES.

La Red de Parques Nacionales de España tiene como objetivo primordial asegurar la conservación de sus valores naturales. Alcanzar dicho objetivo requiere poner en marcha programas de seguimiento que permitan la obtención de información continua y sistemática sobre el estado y los cambios en la salud e integridad de los ecosistemas que lo conforman. Estos dos conceptos resultan muy útiles e intuitivos para informar a los ciudadanos del estado de conservación de los ecosistemas.

La tecnología de observación terrestre se encuentra en constante desarrollo y, en las últimas décadas, ha resultado ser una herramienta clave en el estudio y gestión medioambiental, ya que permiten obtener información continua y espacialmente explícita, homogénea, a “tiempo real” y comparable a diferentes escalas. Además, es un importante apoyo para la gestión eficiente de los ecosistemas, al presentar una base de datos a lo largo del tiempo que permita evaluar la evolución de los mismos, y es útil para las instituciones encargadas de su gestión, al generar metodologías, procedimientos y formatos para la recolección y análisis de la información necesaria para una mejor toma de decisiones a nivel mundial.

Por ello, a las iniciativas que constituyen el Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales de España se suma desde el año 2017 un sistema de seguimiento del funcionamiento de los ecosistemas mediante técnicas de teledetección que permita evaluar las tendencias a largo plazo y detectar anomalías espaciales y temporales en el funcionamiento de los ecosistemas terrestres a través de índices de verdor generando indicadores de la productividad, de la estacionalidad y de la fenología. Y a partir de 2019 añade la evaluación de ecosistemas marítimos con valores de temperatura e indicadores de productividad.

Así, el Organismo Autónomo Parques Nacionales, en colaboración con el grupo TRAGSA y la Universidad de Almería, ha desarrollado un sistema semi-automático de seguimiento, denominado REMOTE, que, mediante el análisis de información sistemática y actualizada, contribuye al conocimiento necesario para obtener información sobre la producción primaria de los sistemas naturales en la Red de Parques Nacionales, así como sus tendencias y anomalías. Estos datos provienen de datos de imágenes de satélite de observación de la Tierra de la constelación LANDSAT y de los sensores MODIS (Moderate-Resolution Imaging-Spectroradiometer) de la NASA y de la constelación Sentinel 2 y el Servicio de Vigilancia Ambiental Marítimo (CMEMS) del programa COPERNICUS de la Unión Europea.

El sistema produce un conjunto de mapas y gráficos de tendencias y anomalías, en el periodo comprendido entre desde el año de inicio de cada serie de imágenes hasta la actualidad. Cada grupo de imágenes se actualiza en base a su periodo de revisita y los indicadores ecológicos se generan trimestralmente. La colección de datos y productos se encuentran publicados en el visor web de la Red de Parques Nacionales de España, siendo ésta una herramienta útil para la navegación y visualización de la cartografía generada. Actualmente, la información en el visor está disponible anualmente, aunque se está trabajando para actualizar la información mensualmente.

Su desarrollo está basado en 3 principios básicos (Tabla 1):

- Está orientado hacia el seguimiento y la gestión.
- Permite la evaluación del estado de conservación de los ecosistemas a partir de la definición de sus condiciones de referencia, y de los cambios que se observan en el tiempo y en el espacio en relación con ellas.
- Informa de tres niveles de estudio: la Red, los parques individuales, y los sistemas naturales -ecosistemas- que integran cada parque.

Tabla 1. Preguntas de gestión. Ejemplos a los que puede responder el sistema de seguimiento. Elaboración propia.

| Nivel | Aplicaciones de gestión |
|---------------|--|
| Red | <p>Variación de los controles del funcionamiento de los ecosistemas en función de la región biogeográfica</p> <p>Reconocimiento de patrones regionales de cambio</p> <p>Modulación de la respuesta de la dinámica de los parques a los patrones climáticos regionales para las acciones de gestión</p> <p>Conocimiento de los cambios en los Parques en términos de la provisión del servicio ecosistémico ganancias de carbono</p> |
| Parque | <p>Conocimiento de las condiciones de referencia de los parques en términos de productividad primaria, fenología y estacionalidad</p> <p>Estudio de tendencias de cambio direccional en los parques en términos de productividad primaria, fenología y estacionalidad</p> <p>Comportamiento de cada parque en el último año con respecto a la serie histórica, tanto interanual como estacionalmente.</p> <p>Conocimiento de áreas o ecosistemas en su dependencia de la magnitud, variabilidad y tendencias en el servicio ganancias de carbono de un parque determinado</p> <p>Seguimiento del cambio de los ecosistemas en términos de ganancias de carbono</p> |

2. AREA DE ESTUDIO

La Red de Parques Nacionales está formada por 16 espacios naturales situados en 12 comunidades autónomas y en 20 provincias españolas. Su superficie total es de 405.016,26 hectáreas (389.028,06 terrestres y 15.988,20 marinas) (Figura 1).

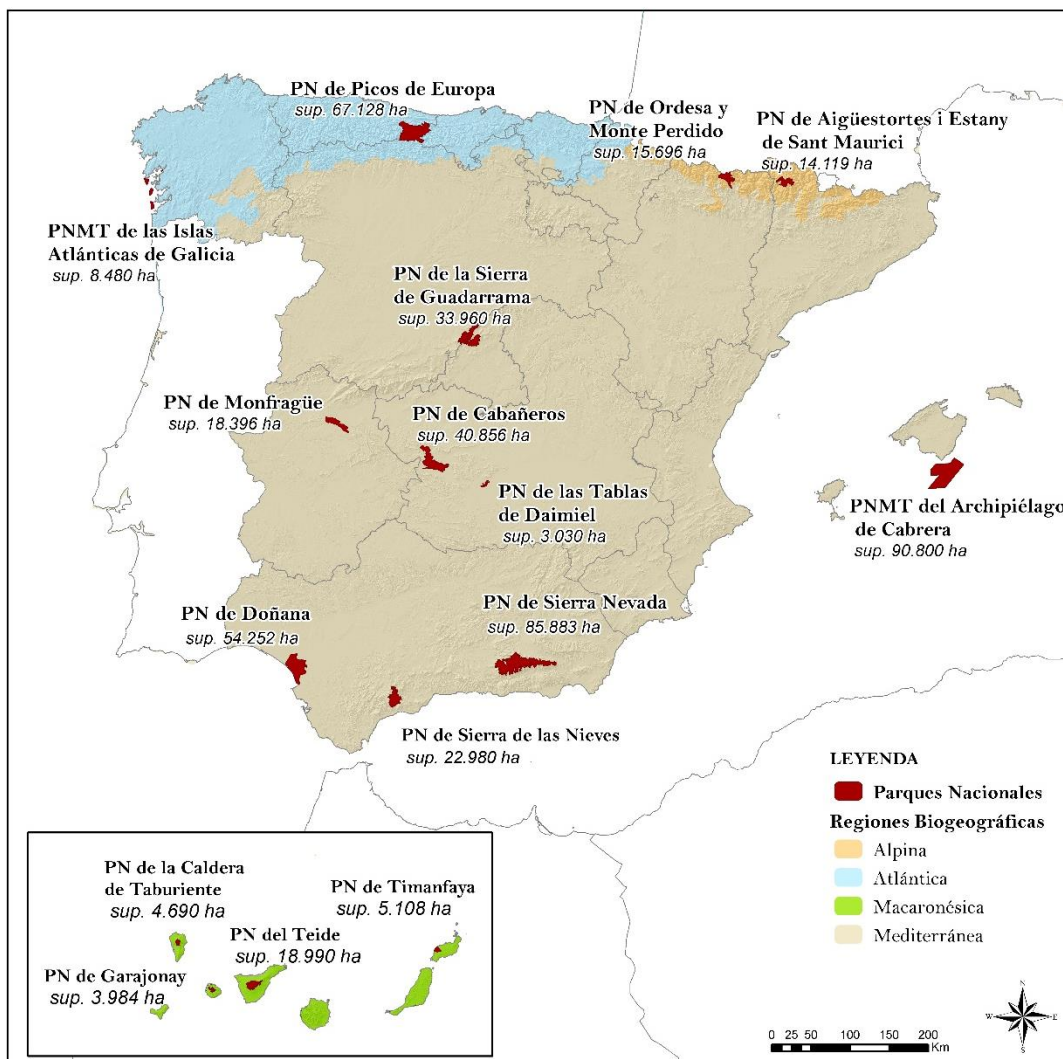


Figura 1. Parques Nacionales y Regiones Biogeográficas. Localización de los Parques Nacionales y las Regiones Biogeográficas en España. Elaboración propia.

Cada parque nacional tiene asociada un área de influencia socioeconómica, y la mayoría de ellos cuentan con una zona periférica de protección, para amortiguar los impactos ecológicos o paisajísticos procedentes del exterior.

En cuanto a las regiones biogeográficas, el Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici y Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido pertenecen a Región alpina, La cual se caracteriza por estar determinada por la temperatura, de tal forma que la estación de crecimiento está claramente centrada en el verano, y se alarga desde finales de abril hasta finales de octubre (



REGIÓN ALPINA

Dinámica del índice de verdor -EVI- de imágenes Landsat.

Media mensual histórica (1984 - 2021)

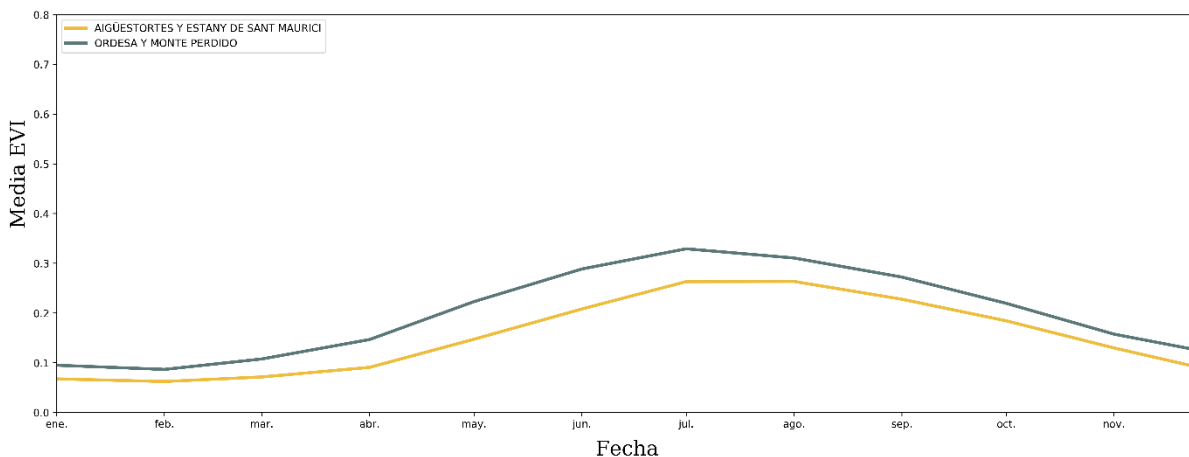


Figura 2).

REGIÓN ALPINA

Dinámica del índice de verdor -EVI- de imágenes Landsat.

Media mensual histórica (1984 - 2021)

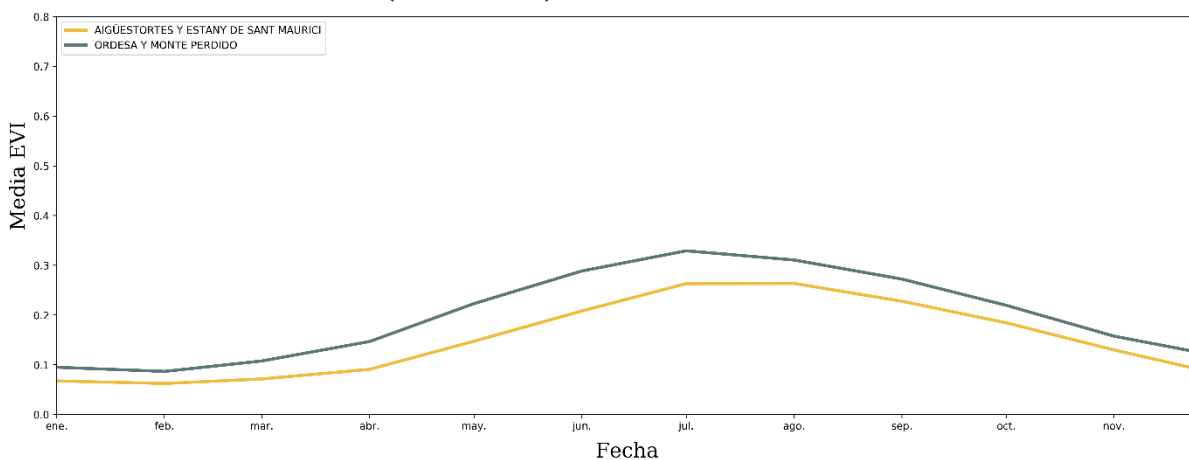


Figura 2. Evolución del EVI en la Región biogeográfica Alpina.

Al igual que en la región anterior, la región Atlántica, en la que se encuentra el Parque Nacional de Picos de Europa e Islas Atlánticas, está determinada por la temperatura, pero la estación de crecimiento alcanza el máximo al final de la primavera, casi un mes antes que en la región Alpina (Figura 3).



REGIÓN ATLÁNTICA

Dinámica del índice de verdor -EVI- de imágenes Landsat.

Media mensual histórica (1984 - 2021)

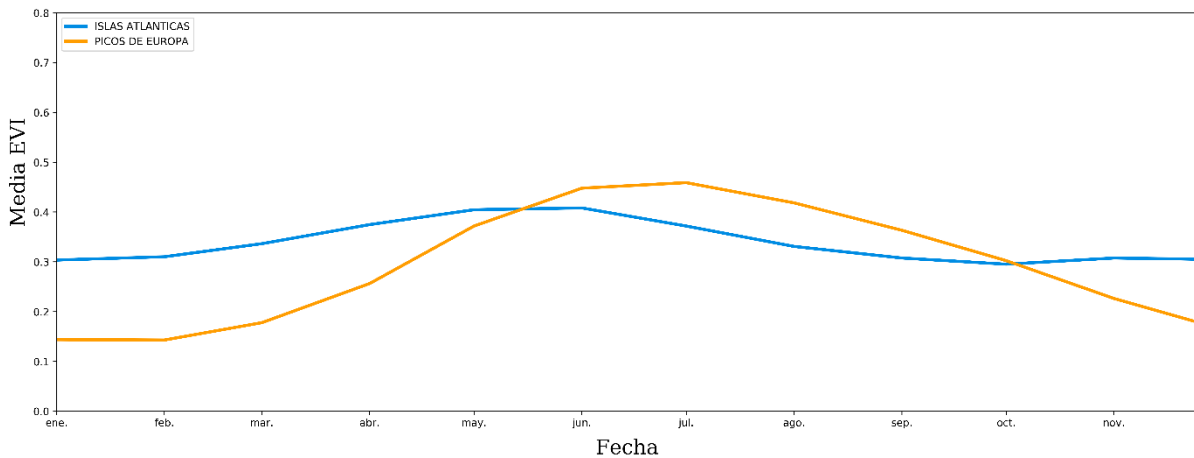


Figura 3. Evolución del EVI en la Región biogeográfica Atlántica.

La mayoría de los Parques Nacionales se encuentran en la Región mediterránea, siendo ésta la que presenta mayor variabilidad en relación a la dinámica estacional del verdor de la vegetación. Tal variabilidad entre parques viene determinada por el gradiente altitudinal y latitudinal que ocupan, y la presencia de humedales en algunos de ellos. En función de la latitud y la altitud se produce un cambio en la importancia de los controles ambientales que determinan el funcionamiento ecosistémico, y particularmente la estacionalidad del dosel vegetal. Así, mientras que a bajas altitudes el control principal de la estacionalidad es la sequía de verano, en la alta montaña es la temperatura. Esto hace que la estación de crecimiento, y el comportamiento estacional cambie de unos parques a otros, e incluso dentro del mismo parque. En los parques nacionales de la Sierra de Guadarrama, Cabañeros y Sierra Nevada la estación de crecimiento alcanza su máximo entre los meses de mayo y junio, mientras que en Monfragüe se alcanza al principio de la primavera. En todos los casos se produce un decaimiento de la actividad durante el verano, aunque en los casos de Sierra de Guadarrama y Sierra Nevada este fenómeno ocurre principalmente en las zonas más bajas.

Por su parte, los humedales (parques nacionales de las Tablas de Daimiel y Doñana) muestran una dinámica estacional con dos picos de actividad, uno al principio de la primavera (finales de marzo-abril), y otro a comienzos de septiembre, aunque este último es menor.

Finalmente, se encuentran los parques que pertenecen a la Región macaronésica, los cuales no muestran estacionalidad. Aunque el verano en esta región no es lluvioso, los vientos alisios aportan humedad por debajo del mar de nubes o sequedad por encima, lo que parece contribuir a que los ecosistemas mantengan una actividad constante a lo largo del año. Las diferencias en la productividad de estos parques están determinadas fundamentalmente por los vientos alisios, ya que los que reciben la influencia de la humedad del océano (Garajonay) son los más productivos. Dentro de cada parque la altitud y la orientación de las laderas son los controles principales de la disponibilidad hídrica, y, en consecuencia, de la productividad (Figura 4).

REGIÓN MACARONÉSICA

Dinámica del índice de verdor -EVI- de imágenes Landsat.

Media mensual histórica (2000 - 2021)

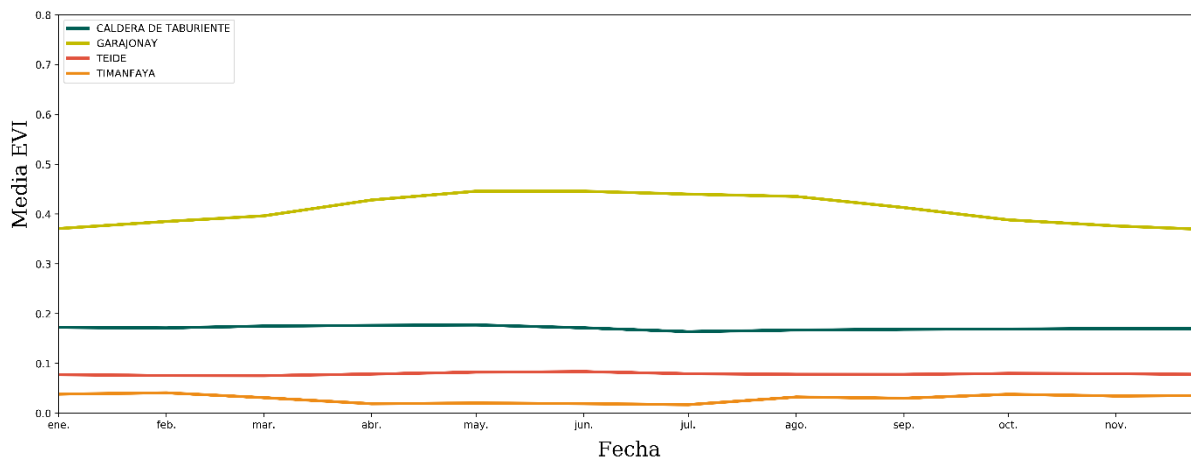


Figura 4. Evolución del EVI en la Región biogeográfica Macaronésica.

A continuación, se exponen las principales características de cada parque nacional.



2.1. PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI

Situado en el Pirineo catalán, este parque se caracteriza por los circos glaciares, los valles con forma de "U", algunos de ellos colgados y otros escalonados, y por los más de doscientos estanys (Figura 5).

Su clima se encuentra muy condicionado por diversos factores, como la altitud, que oscila entre los 1.350 y los 3.033 m, y la diferente orientación de sus valles, que facilitan la existencia de un gran número de microclimas diferentes, con una mayor influencia oceánica en los valles abiertos al norte y al oeste, y mediterránea en los que miran al este o al sur. En las zonas altas el clima se uniformiza y las precipitaciones de agua o de nieve pueden llegar a ser del orden de los 1.500 mm anuales.

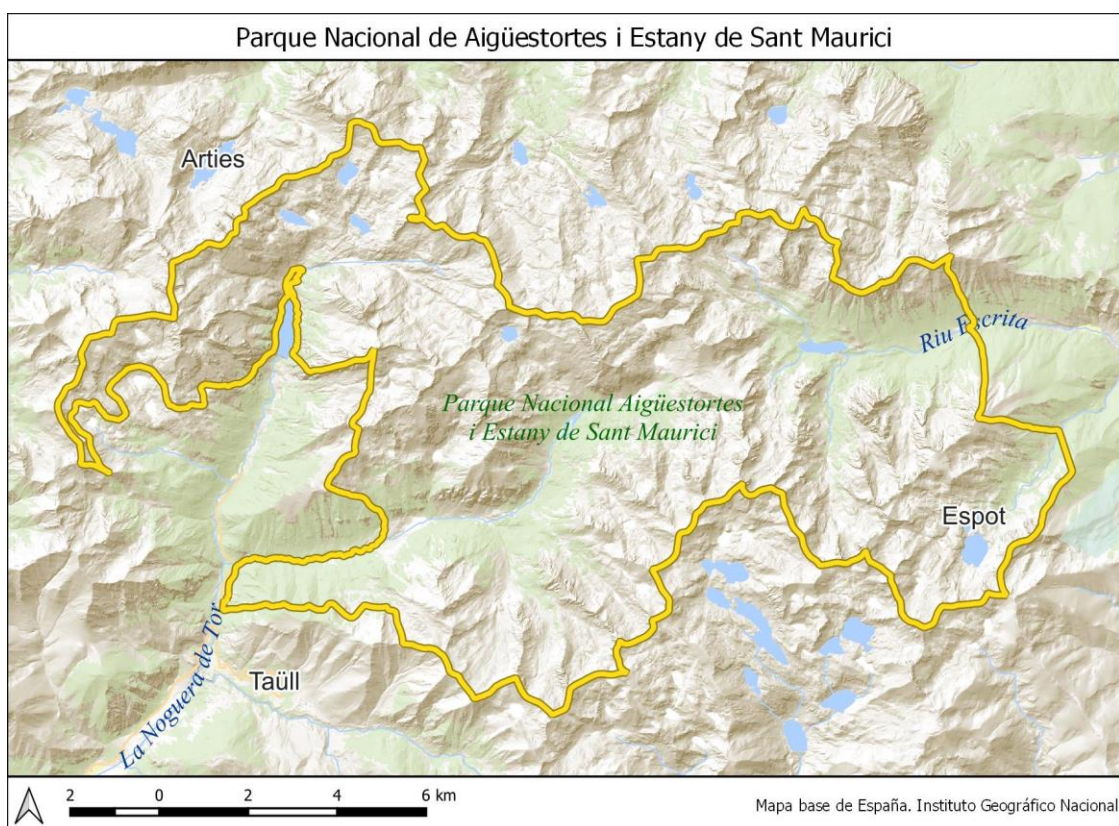


Figura 5. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia

La vegetación más representativa de este parque está caracterizada por formaciones boscosas de pino negro (*Pinus uncinata*), abeto (*Abies alba*), pino silvestre (*P. sylvestris*), abedul (*Betula pendula*) y haya (*Fagus sylvatica*).



2.2. PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS

Este parque nacional se encuentra entre las provincias de Ciudad Real y Toledo y es una de las mejores representaciones europeas los bosques y matorrales mediterráneos, tanto por su diversidad como por su buen estado de conservación (Figura 6).

La altitud se encuentra entre los 620m hasta los 750 m y, en cuanto a la pluviosidad, oscila entre los 450 y 750 mm.

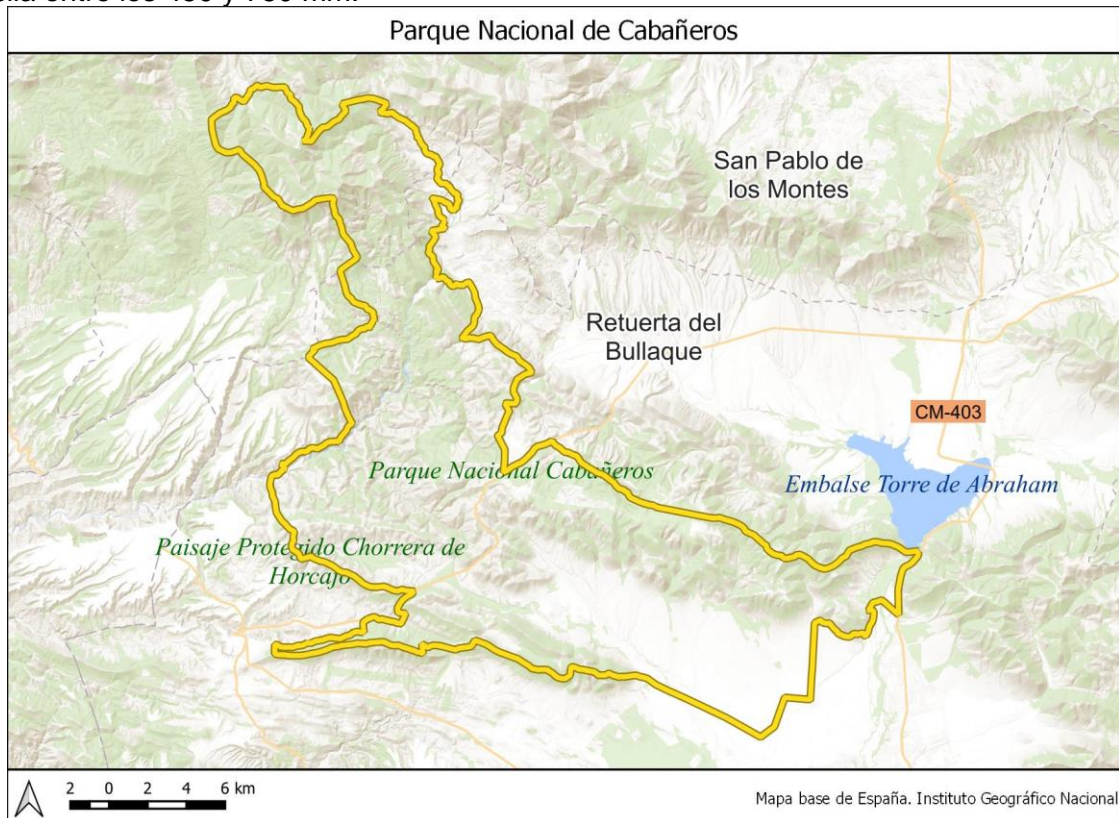


Figura 6. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

Los tipos de vegetación más representativos del parque son el bosque mediterráneo (robledales de *Quercus pyrenaica*, *Q. robur*, y *Q. faginea*, alcornocales de *Q. suber*, encinares de *Q. ilex* y *Q. rotundifolia*, y dehesas perennifolias de *Quercus* spp.), los bosques de ribera (Fresnedas de *Fraxinus angustifolia* y *F. arnus*, alisedas de *Alnus glutinosa*, bosques de galería, tarayales), y las turberas y brezales higroturbosos (Brezales atlánticos de *Erica ciliaris*, turberas elevadas activas, depresiones en sustratos turbosos del *Rhynchosporium*).



2.3. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA

El Parque Nacional, que se encuentra al sur de Mallorca (Figura 7), está conformado por un conjunto de islotes pertenecientes al archipiélago balear y cuenta con 90.794 hectáreas (89.478 hectáreas marinas y 1.316 hectáreas terrestres).

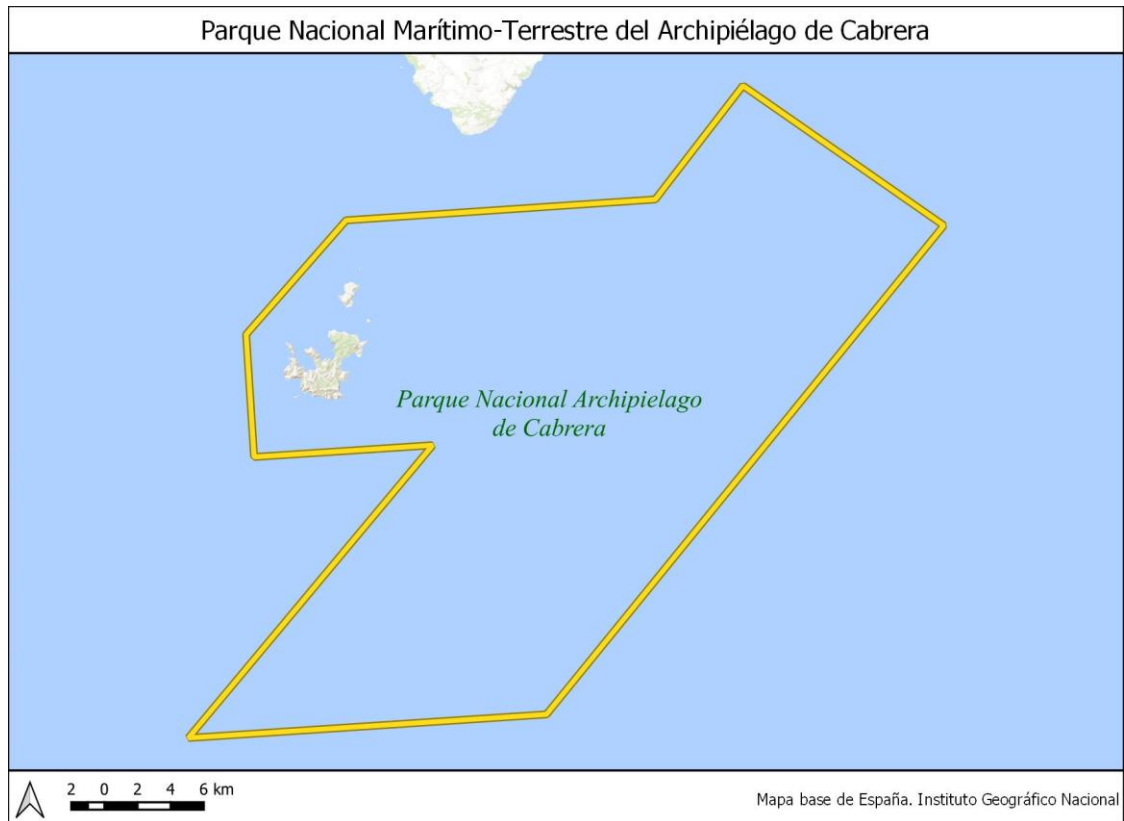


Figura 7. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

El paisaje de este parque nacional es el mejor exponente de ecosistemas insulares no alterados del Mediterráneo español. Está dominado por plantas adaptadas a largos períodos de escasez de agua; bosques y matorrales de hoja perenne sobre suelos, generalmente, pobres. Se contabilizan más de 500 especies de flora vascular.

La vegetación terrestre del parque está muy influenciada por su situación geográfica. Predomina el matorral mediterráneo con arbustos leñosos de hoja coriácea y pequeña, formadores de la “garriga”, matorral perfectamente adaptado a los rigores del clima mediterráneo, plantas como acebuche, lentisco, sabina, romero y euforbia que en algunas partes se mezclan con pino carrasco. Interesantes comunidades de vegetación litoral y plantas de acantilados con presencia de varios endemismos baleares o del propio parque.



2.4. PARQUE NACIONAL DE LA CALDERA DE TABURIENTE

Este parque nacional se encuentra en la isla de La Palma, y se caracteriza por ser un enorme circo de 8 km de diámetro con aspecto de caldera, donde múltiples erupciones volcánicas, grandes deslizamientos, la fuerza erosiva del agua y el tiempo han ido modelando su geomorfología, convirtiéndola en un escarpado paisaje con casi 2.000 m de desnivel (Figura 8).

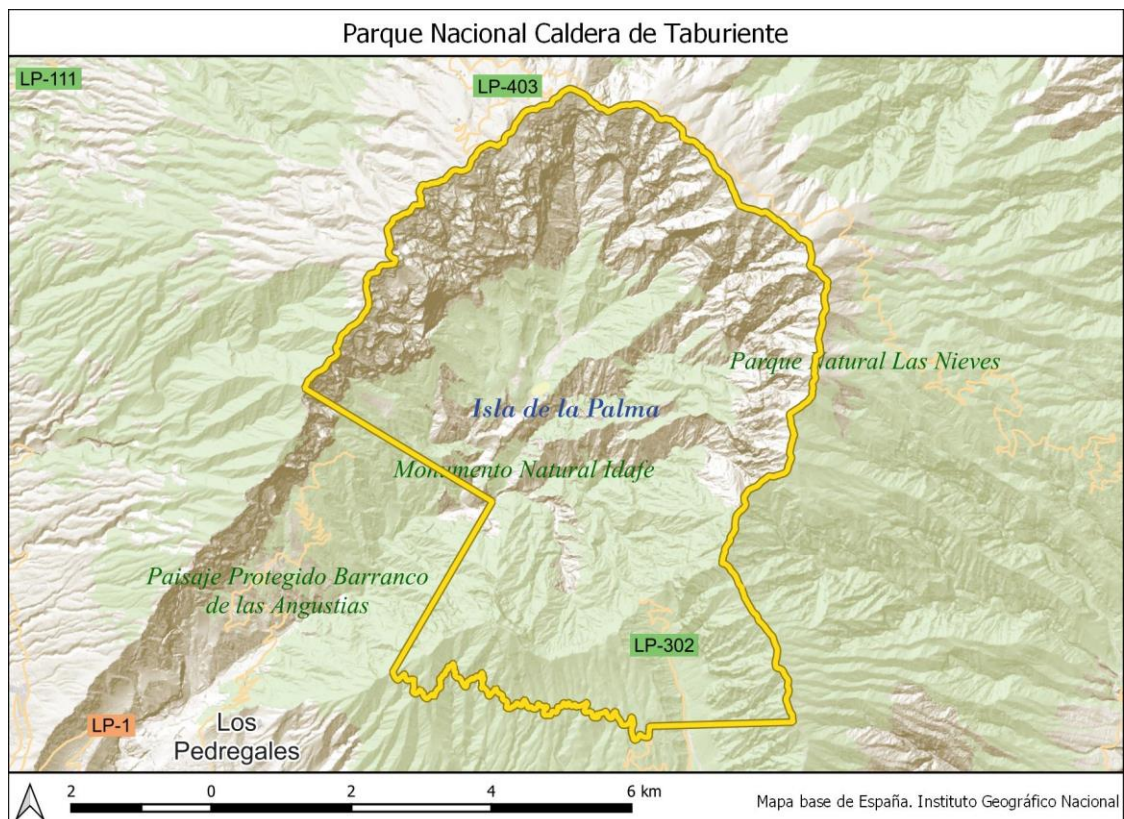


Figura 8. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

La inmensa red de arroyos y torrentes con los que cuenta han permitido el desarrollo de un gran número de endemismos, en los que destaca el pino canario, el retamón (*Genista benehoavensis*) y la violeta (*Viola palmensis*), así como aves endémicas de la Macaronesia, como es el caso de la paloma rabiche (*Columba junoniae*) o el bisbita caminero (*Anthus berthelotii*).



2.5. PARQUE NACIONAL DE DOÑANA

El Parque Nacional de Doñana (Figura 9) es un mosaico de ecosistemas que albergan una biodiversidad única en Europa. Situado entre las provincias de Huelva y Sevilla, en este parque destaca sobre todo la marisma, de extraordinaria importancia como lugar de paso, cría e invernada para aproximadamente 300 especies de aves europeas y africanas al año.

Doñana supone la confluencia de un conjunto de ecosistemas (playa, dunas, cotos, marisma...) que dotan a este Parque de una personalidad única.

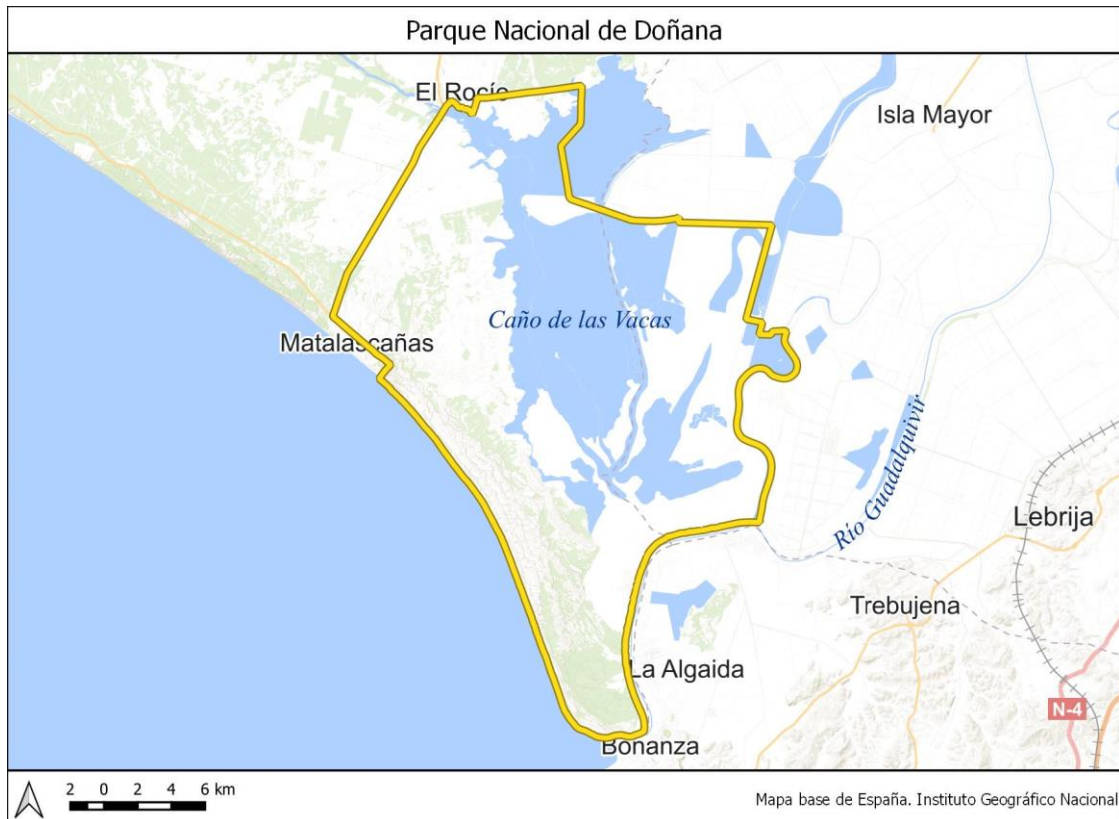


Figura 9. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

Las zonas de dunas móviles habitan especies vegetales muy adaptadas a la arena y al viento como la *Ammophila arenaria*, así como las zonas de vegetación en las que destacan alcornoques y encinas.



2.6. PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY

Situado en isla de La Gomera, el parque (Figura 10) destaca sobre todo por ser el principal exponente de la laurisilva canaria en buen estado de conservación, siendo éste un ecosistema proveniente de la Era Terciaria, que desapareció del continente como consecuencia de los cambios climáticos ocurridos en el Cuaternario.

Los factores que condicionan el clima del Parque son las lluvias orográficas y la frecuencia de nieblas producidas por condensación de las masas ascendentes de aire oceánico y húmedo transportadas por los vientos alisios. Las precipitaciones de lluvia son relativamente escasas, oscilando entre 600 y 800 mm anuales, concentrándose en los meses de otoño e invierno. Sin embargo, las frecuentes nieblas, especialmente durante la primavera y en menor medida en verano, proporcionan una elevada humedad casi constante, reduciendo la evapotranspiración y proporcionando aportes suplementarios de lluvia horizontal.

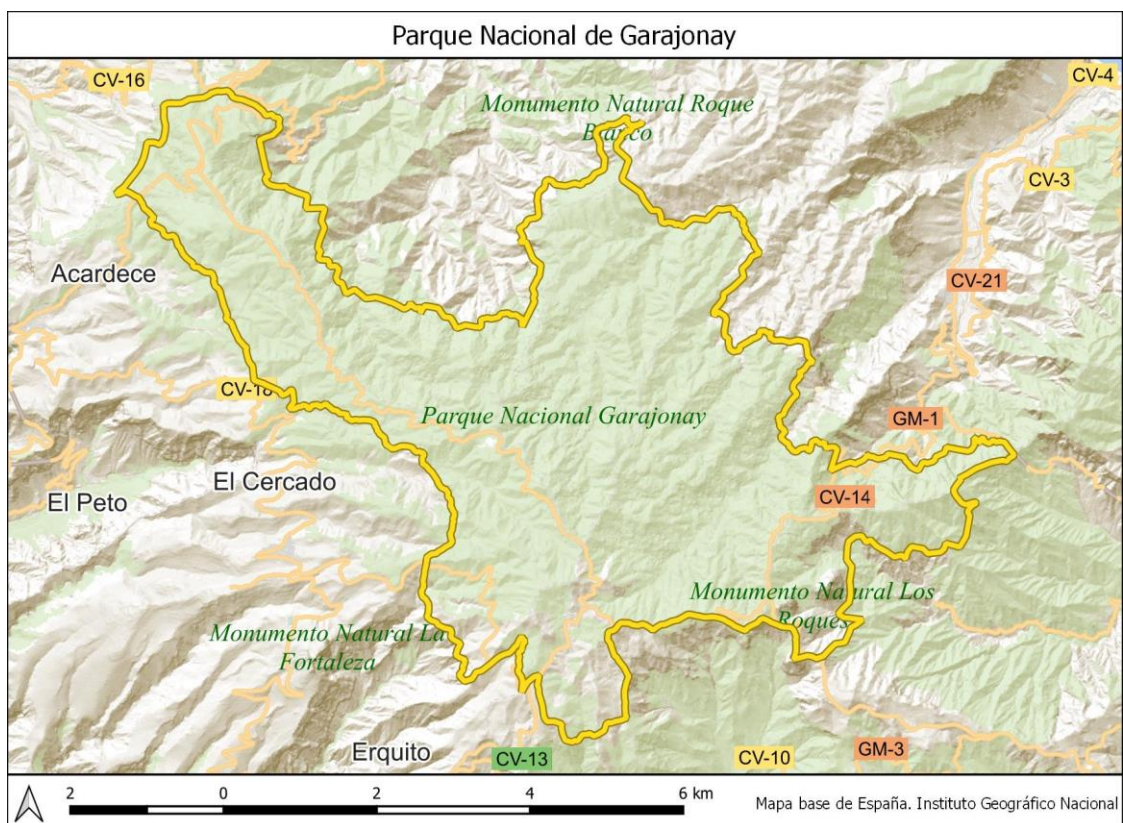


Figura 10. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

La flora del Parque, aunque no es excepcionalmente diversa debido a su pertenencia a un ecosistema insular y a la inclusión en el mismo de un solo piso bioclimático, sí presenta una singularidad extraordinaria por la gran riqueza de especies endémicas, probablemente la mayor de la Red Estatal de Parques en el caso de la flora vascular, que suman entre endemismos gomeros, canarios y macaronésicos un total de 250 especies endémicas.

Destaca la tabaiba dulce (*Euphorbia balsamifera*) cerca de la costa, la tabaiba amarga (*Euphorbia bertheloti*) y el cardón (*Euphorbia canariensis*), acompañados en ocasiones por matorrales de balos (*Plocama pendula*) en la zona baja (200 – 300 m altitud), el sabinar (*Juniperus phoenicea*), jarales (*Cistus monspeliensis*) y retamares (*Spartocytisus filipes* y *Retama monosperma*) y palmerales (*Phoenix canariensis*) en la zona media y selvas, bosques



y matorrales arborescentes, conocidas comúnmente como Monteverde, denominación que engloba la laurisilva caracterizada por bosques desarrollados, localizados en las zonas húmedas orientadas al norte y por el fayal brezal en la zona alta.

2.7. PARQUE NACIONAL DE GUADARRAMA

La Sierra de Guadarrama forma parte del Sistema Central, una larga cadena montañosa, de 500 kilómetros de longitud, que cruza de este a oeste el centro de la Península Ibérica (Figura 11).

Las condiciones de la Sierra, más fresca y húmeda que las mesetas, con una precipitación media anual es de 1223 mm, y su menor transformación por la actividad humana, han convertido a estas montañas en un privilegiado refugio de biodiversidad. En su medio físico destacan sus circos y lagunas glaciares y sus roquedos graníticos; entre sus paisajes vegetales, los ecosistemas de alta montaña y los extensos pinares de pino albar.

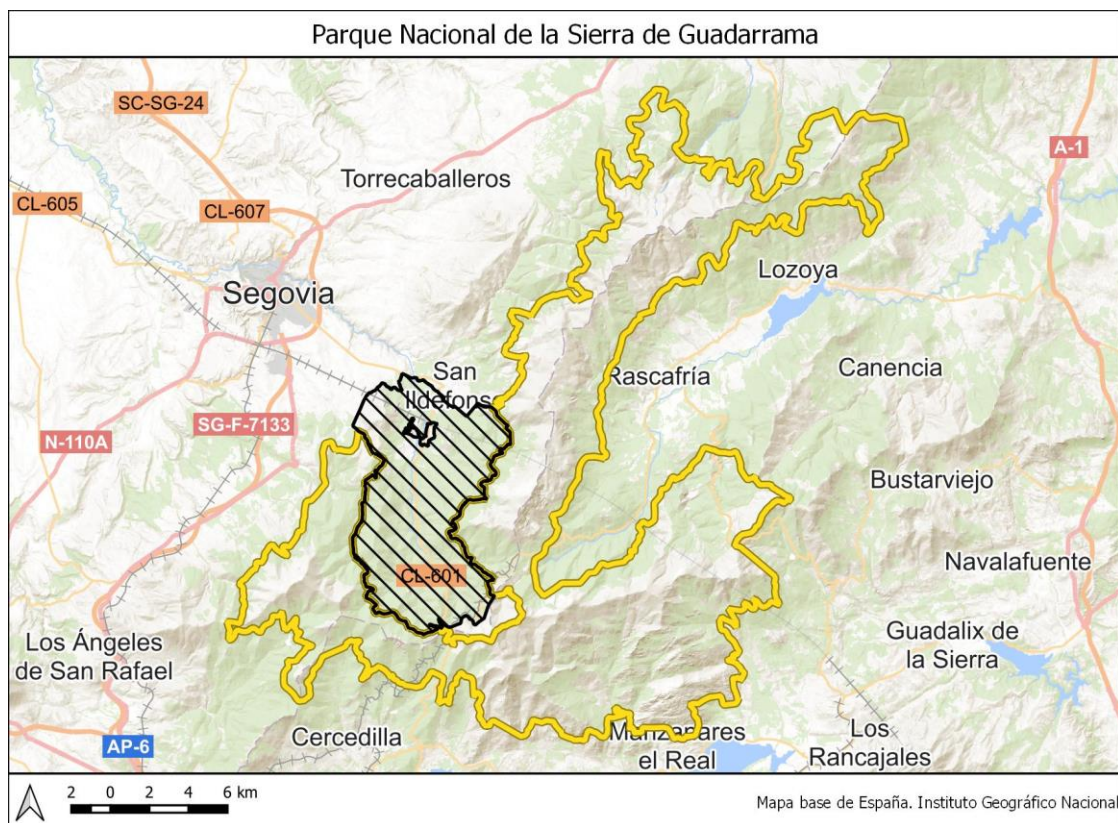


Figura 11. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

Las formaciones vegetales más representativas del Parque Nacional de Guadarrama se componen fundamentalmente de pinares de *Pinus sylvestris* y *halepensis*, encinares (*Quercus ilex*), enebrales (*Juniperus spp.*) y melojares (*Quercus pyrenaica*).



2.8. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS DE GALICIA

El Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia está compuesto por los Archipiélagos de Cíes, Ons, Sálvora y Cortegada y las aguas de su entorno (Figura 12). Las islas forman parte de una cadena montañosa que se hundió en el mar hace varios millones de años.

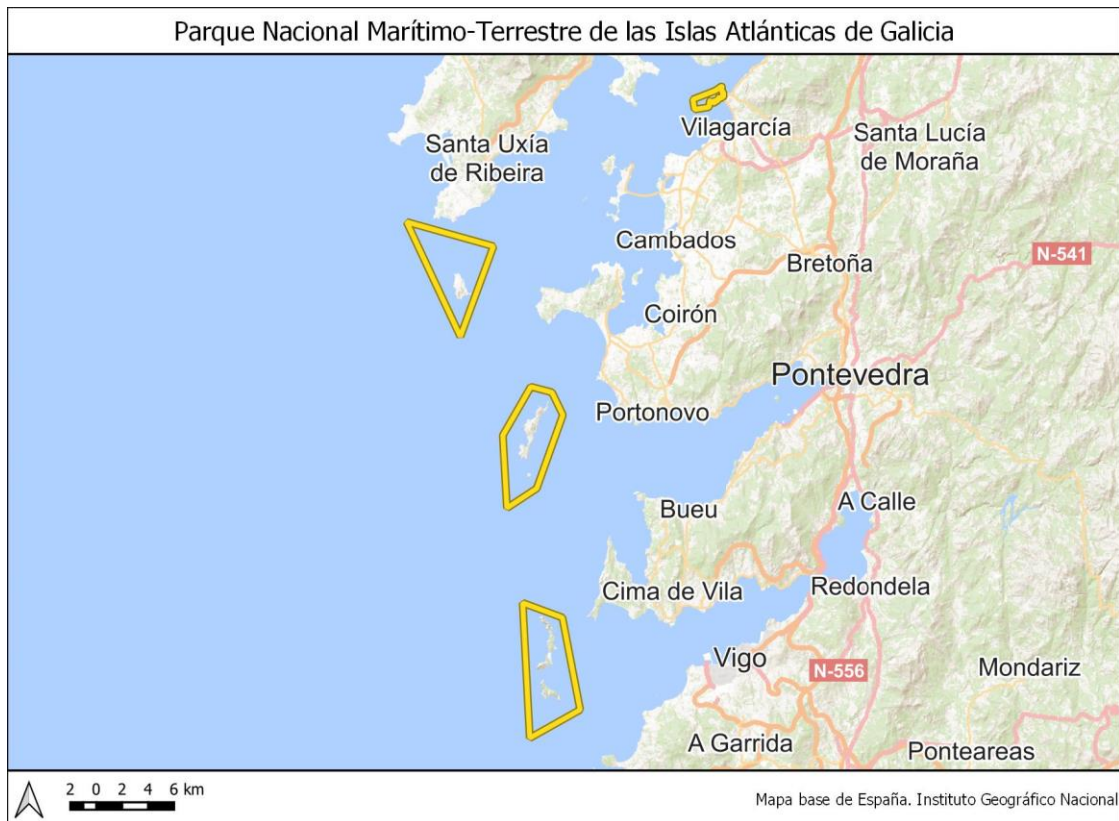


Figura 12. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

La **flora de los ecosistemas litorales** debe protegerse de la aridez, la sal y el viento. Las playas y dunas, ambientes de gran aridez, obligan a las plantas a presentar especiales adaptaciones: colores claros que reflejen la luz, raíces muy profundas, bulbos de reserva de agua, etc. Son plantas de distribución muy restringida y, por tanto, de protección obligada. El barrón, la azucena de mar y el alhelí de mar son algunas de las especies representativas de estos medios.

Los **acantilados**, zonas de escaso sustrato y enfrentadas a fuertes vientos cargados de salitre, sólo permiten la supervivencia de plantas muy adaptadas. Destaca *Angelica pachycarpa* como planta exclusiva del noroeste peninsular, asociada a los acantilados frecuentados por colonias de gaviotas. Los **matorrales costeros** atlánticos y submediterráneos, dominados por el tojo, presentan algunas especies de carácter submediterráneo como el torvisco y el jaguarzo negro. Como especie propia de este matorral podemos destacar *Cytisus insularis*, una retama exclusiva del parque. Las manchas arbóreas de eucaliptos, pinos y acacias son producto de la repoblación, pero en zonas abrigadas quedan núcleos aislados de especies arbóreas autóctonas como el roble melojo o el endrino. En Cortegada encontramos también espectaculares bosques de laurel.

Ecosistemas submarinos: En el mar, distintos fondos rocosos, bancos de arena, fondos de maërl, fondos de cascajo y bosques de algas crean un gran mosaico de



ecosistemas en estas islas y las aguas que los rodean. La extraordinaria riqueza marina de las islas se explica por el afloramiento o ascenso de aguas profundas ricas en nutrientes, que sirven de sustento a pequeños microorganismos, base de la cadena alimentaria.

La circulación de las corrientes marinas y estuáricas, la diversidad de sustratos y el relieve de los fondos dotan al medio marino de distintos escenarios ecológicos que determinan la gran diversidad de flora y fauna marinas. Este es el gran tesoro escondido del parque. La luz y el oleaje, junto con la profundidad y las características del sustrato, condicionan la distribución de la flora marina. En la cara oeste de las islas resaltan las grandes algas pardas de los géneros *Laminaria* y *Saccorhiza*, que forman auténticos bosques submarinos. También destacan los fondos de maërl, que están formados por la agregación de miles de algas coralígenas de pequeño tamaño y de varias especies.

2.9. PARQUE NACIONAL DE MONFRAGÜE

Situado en la provincia de Cáceres, esta área natural puede considerarse como un valle surcado por los ríos Tajo y Tiétar (Figura 13).

Las sierras que delimitan este valle acogen una importante variedad de biotopos: encinares, bosque y matorral mediterráneo, roquedos, embalses y arroyos, permitiendo la existencia de una rica y variada vida vegetal y animal.

Entre la fauna, representada por más de 280 especies de vertebrados, se encuentran algunas de las especies más significativas de la naturaleza española.

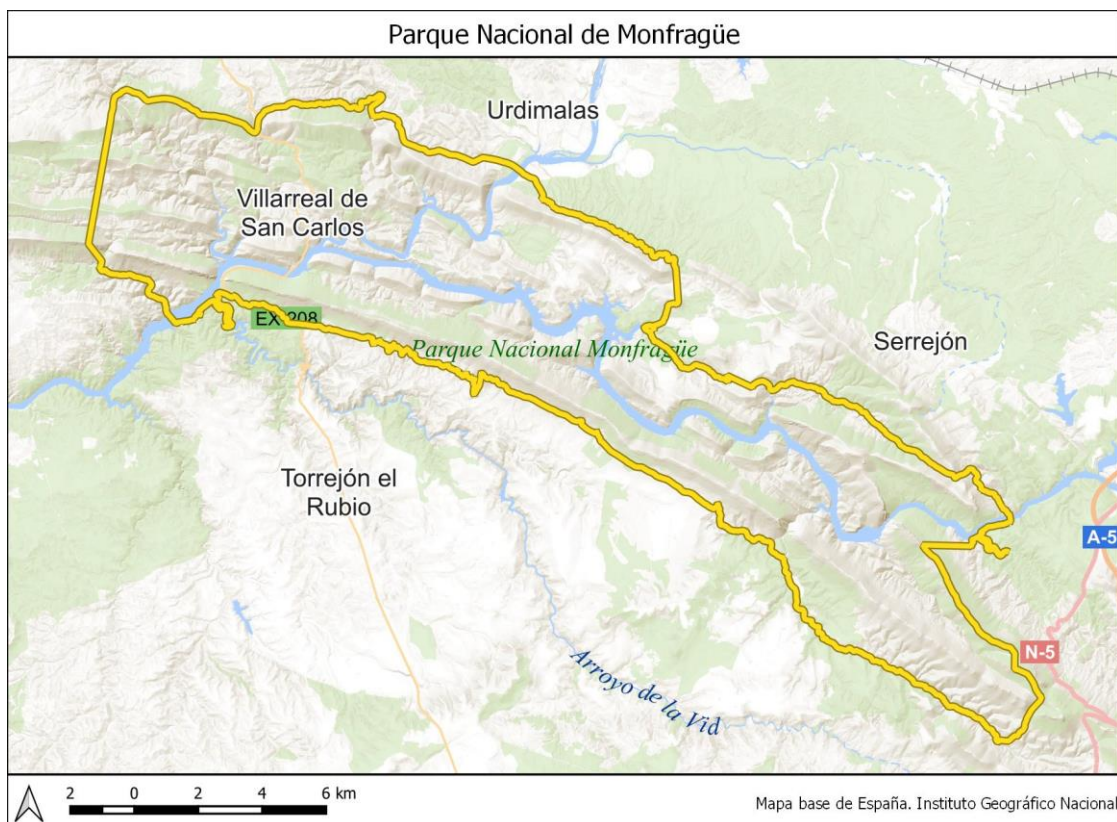


Figura 13. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.



2.10. PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO

El Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido forma parte de la unidad fisiográfica del macizo de Monte Perdido, la montaña calcárea más alta de Europa, con 3.355 metros (Figura 14). Se encuentra enclavado en el Pirineo Aragonés, donde limita con Francia al norte de la provincia de Huesca.

La característica principal de su paisaje es la sucesión de crestas, agujas, profundos valles y cañones que muestran el vigor y energía de las fuerzas que intervinieron en su formación y la juventud aparente de su relieve. Sin embargo, existe un constatado equilibrio entre las formas abruptas debidas a la acción glacial y las aplanadas, que se deben a los fenómenos erosivos periglaciares.



Figura 14. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

Una variedad tan extensa de suelos, diferencias altitudinales, climas, orientaciones y sustratos explica, sin duda, la riqueza biológica que guarda el Parque Nacional.

El catálogo de plantas vasculares del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido incluye más de 1.300 especies diferentes. Esto significa que dentro del territorio del Parque más su Zona Periférica de Protección -unos 350 kilómetros cuadrados- se encuentra representada la mitad de toda la flora presente en el Pirineo aragonés -unas 2.450 especies.

A la diversidad paisajística y de comunidades vegetales existente habría que añadir, por lo tanto, una elevada concentración de especies vegetales que, además, presentan afinidades muy diversas: atlánticas, boreoalpinas, oromediterráneas, mediterráneas, etc.



Sus grandes superficies de acantilados y paredes albergan una gran cantidad de especies endémicas del Pirineo, como lo son *Borderea pyrenaica* o *Silene borderei*. Asimismo, también da cobijo a fauna tan característica como el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*) o el rebeco (*Rupicapra pyrenaica*).

2.11. PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Este parque es un macizo montañoso localizado en el norte de España que pertenece a la parte central de la cordillera Cantábrica (Figura 15). Presentan la mayor formación caliza de la Europa Atlántica, con importantes procesos cársticos, simas que llegan a más de 1.000 m, erosión glaciaria muy patente y presencia de lagos.

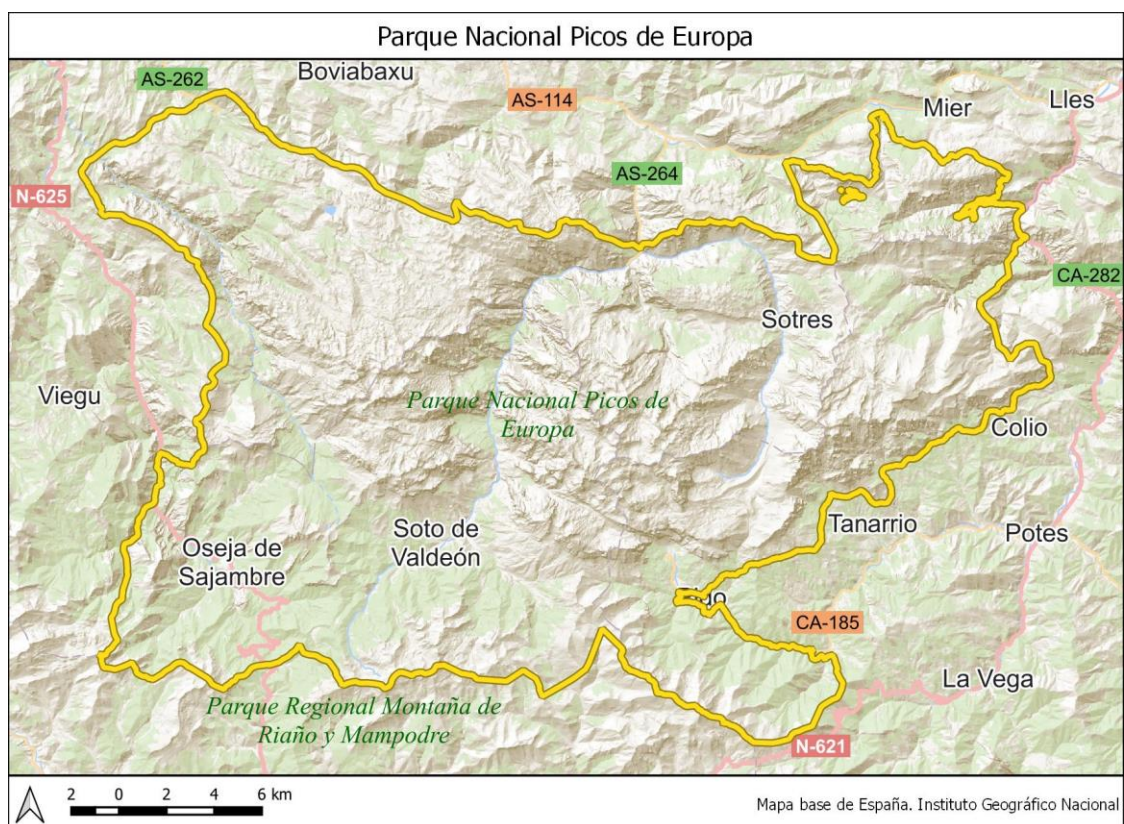


Figura 15. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

Alcanza los 2.648 m de altitud, y se registran más de 1.500 mm de precipitaciones medias anuales. Las formaciones vegetales más representativas son los robledales de *Quercus robur*, los melojares de *Quercus pyrenaica*, los carrascales de *Quercus rotundifolia*, y los hayedos (*Fagus sylvatica*). Por encima de los 1.600 msnm, las condiciones ambientales extremas sólo permiten la presencia de prados subalpinos.



2.12. PARQUE NACIONAL DE SIERRA DE LAS NIEVES

Con una superficie de 22.979,76 hectáreas, este Parque Nacional se incluye íntegramente en la Comunidad Autónoma de Andalucía, en la provincia de Málaga, en el extremo occidental de la Cordillera Bética.

Su estratégica ubicación geográfica, unida a la particular conformación geológica y orográfica y a la complejidad del sustrato, dan lugar a una elevada diversidad ecológica que se manifiesta en una multiplicidad de hábitats, especies y elementos geológicos en un territorio relativamente pequeño (Figura 16).



Figura 16. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

En el contexto geológico se incrementa la representación del sistema natural «Formas del relieve y elementos geológicos singulares del macizo Ibérico y las cordilleras alpinas», que incorpora las únicas rocas del manto superior que afloran en las cordilleras alpinas ibéricas, las peridotitas. Asimismo, se ve incrementada la representación de los «Sistemas naturales singulares de origen kárstico», con uno de los mejores ejemplos españoles de karst mediterráneo en transición con la alta montaña.

En cuanto a su vegetación, destaca el sistema natural Abetales y pinsapares, que mejora cuantitativa y cualitativamente su representación en el contexto de la Red al incorporar los pinsapares. Integra más de la mitad del total de la superficie ocupada por esta especie. Estas masas constituyen las formaciones más extensas de bosques de pinsapo conservadas en el ámbito peninsular, así como los Pinares de pino negral peridotíticos del sector occidental malacitano, los Sabinars negrals interiores, los Alcornocales húmedos gaditanos y los matorrales almohadillados espinosos y tomillares de pradera.

2.13. PARQUE NACIONAL DE SIERRA NEVADA

Este parque, situado entre Granada y Almería, representa uno de los sistemas naturales ligados a la media y alta montaña mediterránea (Figura 17). En él se localizan los mayores picos de la Península Ibérica, el Mulhacén (3.482 m) y el Veleta (3.392 m). Su relieve tiene además un extraordinario interés geomorfológico debido a las formas de modelado glacial y periglacial existentes y a la, aún activa, dinámica periglacial que sigue actuando a partir de los 2.500-2.600 m.

En las cumbres, precipitaciones próximas a los 2.000 mm proporcionan una considerable capa de nieve y, por tanto, buena reserva de recursos hídricos.

En Sierra Nevada, los veranos son suaves y los inviernos fríos con heladas frecuentes, especialmente en los pisos oro- y crioromediterráneo. Desde enero hasta agosto las temperaturas experimentan un alza gradual para declinar a partir de septiembre.

Por encima de los 1.800 m de altitud, la precipitación es en forma de nieve al menos en un 30%, y por encima de los 2.500 m en un 95%. De esta forma, se provoca una escorrentía en los esquistos, que es drenada por barrancos y arroyos.

La red hidrográfica es amplia, y está formada por numerosos arroyos, ríos y barrancos, que, alimentados por las nieves, cuentan con poca agua en invierno y un caudal elevado en primavera y principios de verano.



Figura 17. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

La diversidad biológica es el principal valor ecológico de Sierra Nevada, especialmente en lo que se refiere a la flora vascular, con más de 2.100 especies catalogadas de las cerca de 8.000 existentes en la Península Ibérica. Sierra Nevada presenta el 7% de la flora vascular existente en la Región Mediterránea; teniendo en cuenta que este macizo apenas representa una centésima parte de la superficie total de esta región biogeográfica, da una idea de la calidad de esta singular muestra del patrimonio natural.

Destacan especies como los acerales (*Acer granatense*, *A. monspessulanum*), quejigares (*Quercus faginea*), melojares (*Quercus pyrenaica*), encinas (*Quercus rotundifolia*), enebros (*Juniperus oxycedrus*), torvisco (*Daphne gnidium*), rusco (*Ruscus aculeatus*), agracejo (*Berberis hispanica*) y majuelo (*Crataegus monogyna*) en media montaña y pastizales de bajo porte y escasa cobertura (pastizales psicroxerófilos), especies de porte arbóreo y arbustivo (*Pinus sylvestris*, *Juniperus sabina*, *J. communis subsp. hemisphaerica*, *Prunus ramburii*) y un matorral pulvinular en alta montaña.

2.14. PARQUE NACIONAL DE TABLAS DE DAIMIEL

Las Tablas de Daimiel son un humedal prácticamente único en Europa y último representante del ecosistema denominado tablas fluviales, antaño característico de la llanura central de nuestra Península (Figura 18). Es un ecosistema complejo que mezcla las características de una llanura de inundación, producida por los desbordamientos de los ríos Guadiana y Gigüela en su confluencia, con la de un área de descarga de aguas subterráneas procedentes de un acuífero de gran tamaño.

Estos desbordamientos, favorecidos por la escasez de pendiente en el terreno, llevan emparejados el desarrollo de una potente y característica cubierta vegetal que constituye un excepcional hábitat para toda la fauna ligada al medio acuático.

Las Tablas de Daimiel están consideradas como Zona Húmeda de Importancia Internacional en la lista que, al amparo del Convenio de Ramsar, acoge cerca de 200 humedales de Europa y Norte de África. Están estratégicamente situadas en las rutas migratorias de miles de aves y desde hace muchos años han sido utilizadas como zona de reposo. Incluso muchas de estas aves escogen estas zonas para pasar el invierno.

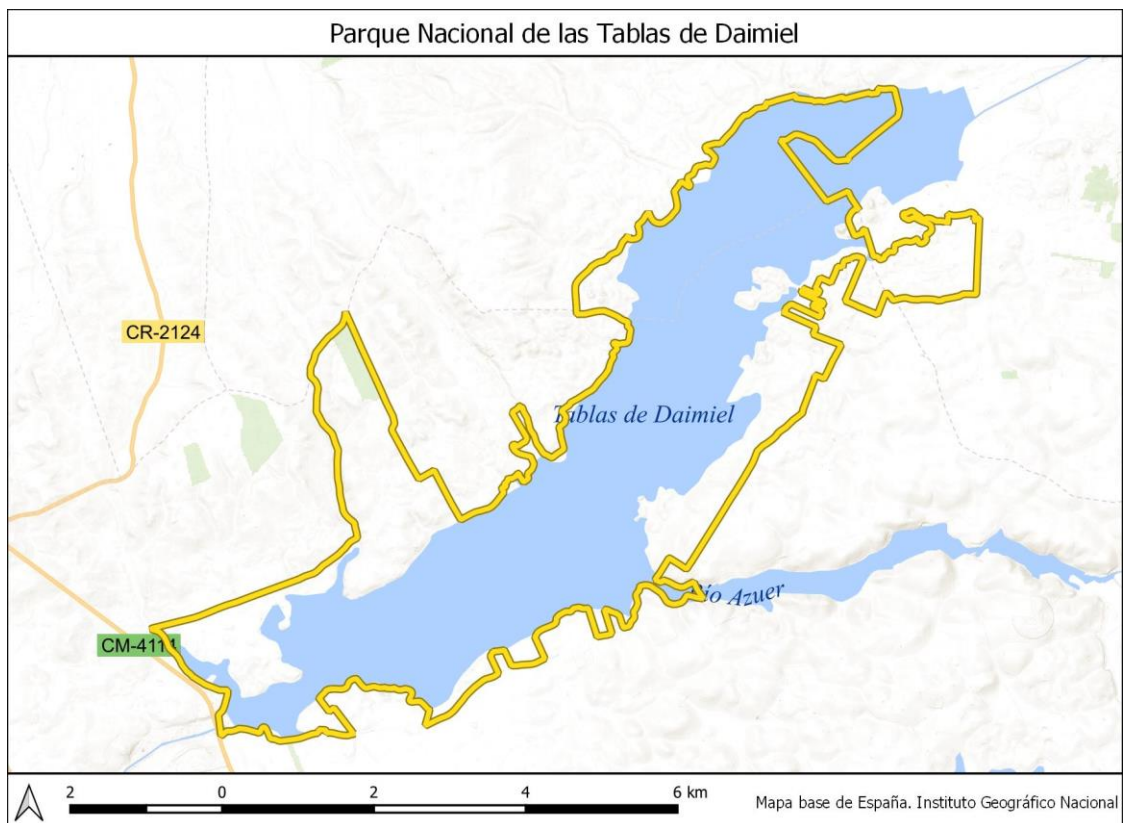


Figura 18. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

La vegetación emergente del parque constituye un elemento clave en el funcionamiento del humedal, ya que juega un papel fundamental en la distribución y el balance de agua, en la sedimentación y en el ciclo de nutrientes (Aguilera et al. 2009, Aguilera et al. 2016). La vegetación se presenta como un mosaico de parches alternantes, cuya composición está determinada fundamentalmente por la estacionalidad de las aguas, la salinidad, la materia orgánica, la microtopografía y la humedad edáfica.

El agua dulce del Guadiana favorece el crecimiento de marjales de carrizo (*Phragmites australis*, *Phragmites communis*), mientras que el agua salobre del Cigüela favorece el crecimiento de la vegetación palustre de masiega (*Cladium mariscus*)- En áreas menos profundas y formando un cinturón discontinuo en la periferia, aparecen grupos de eneas (*Typha domingensis*), bayuncos (*Scirpus lacustris*), castañuelas (*Scirpus maritimus*) y juncos (*Juncus sp.*). Otras de las formaciones características son las praderas de carófitos (*Chara sp.*), conocidas localmente como ovas, que pueden formar un tapiz casi continuo en los fondos inundados. También son frecuentes los tarayales (*Tamarix sp.*)- En las áreas terrestres del parque aparecen sistemas forestales y dehesas.

2.15. PARQUE NACIONAL DEL TEIDE

Este parque se sitúa en la isla de Tenerife, siendo éste un monumento geológico de los más espectaculares del mundo, en el que los conos volcánicos y las coladas de lava forman un extraordinario conjunto de colores y formas (Figura 19). Presenta un alto porcentaje de especies vegetales endémicas y la importancia en cuanto a número y exclusividad de su fauna invertebrada.



El Parque Nacional tiene en el Pico del Teide (3.718 m) su máxima cota que es, además, el techo de España. El Teide es una formación volcánica que se encuentra situada sobre una antigua y gigantesca depresión calderiforme configurada por dos semicalderas, separadas entre sí por los Roques de García.

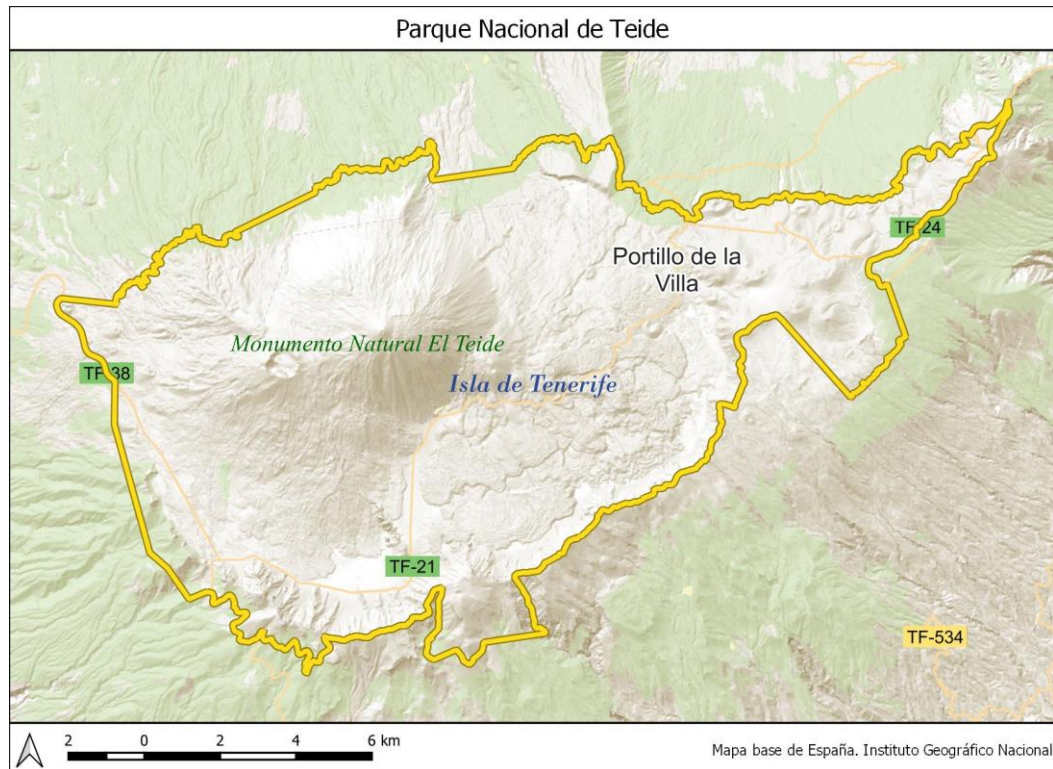


Figura 19. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

La vegetación predominante en el parque es el matorral de alta montaña (predominando la retama del Teide, *Spartocytisus supranubius*), cohabitando junto otras especies como la violeta del Teide (*Viola cheiranthifolia*), o la borraza de las cumbres (*Laphangium teydeum*).

2.16. PARQUE NACIONAL DE TIMANFAYA

Situado en la isla de Lanzarote, de origen volcánico, cuenta con una superficie de 5107 hectáreas (Figura 20). En un entorno hostil como es este parque nacional cabría esperar la ausencia de vegetación, sin embargo, las plantas se han adaptado a unas condiciones desfavorables desarrollando estructuras especiales para soportar la elevada insolación y la escasez de agua.

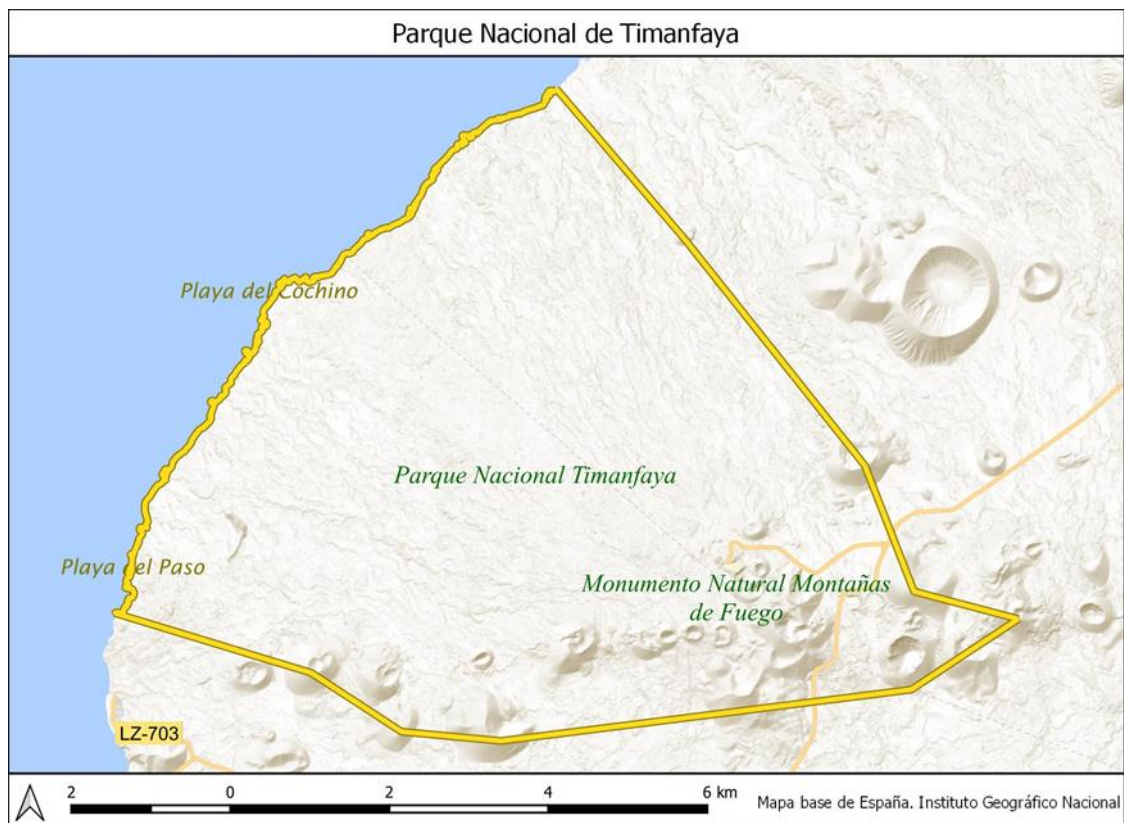


Figura 20. Parque Nacional. Mapa base de España. IGN - Elaboración propia.

Las especies vegetales dominantes en Timanfaya no son arbóreas ni llamativas. La reciente historia geológica sólo ha permitido a los líquenes reinar en la inmensidad volcánica del territorio. Son el primer eslabón de la colonización vegetal de la lava. Los líquenes van desmenuzando la roca, creando tierra fértil, preparando el asentamiento de organismos más exigentes en suelo y agua, pues degradan el mineral para crear suelo donde puedan prosperar otras especies vegetales. Este fenómeno se desarrolla muy lentamente y es el punto de partida para que pueda instalarse una compleja comunidad de plantas.

En el Parque Nacional, podemos encontrar unas 150 especies de líquenes. Presentan una gran variedad de formas y colores y aportan al paisaje sus propios matices a la riqueza cromática de las lavas.

En Timanfaya podemos observar como una planta propia de lugares muy húmedos crece entre las cenizas volcánicas de una isla de características climáticas desérticas. Es el caso de ciertos juncos, que aparecen en formaciones en línea o arco en lugares proclives a la existencia de agua bajo la superficie.

3. METODOLOGÍA Y MATERIALES

3.1. PRODUCTOS UTILIZADOS EN EL SISTEMA REMOTE.

2). En la siguiente tabla se presenta las características de los productos utilizados (Tabla 2).

Tabla 2. Características de los productos utilizados.

| Productos | Resolución temporal (días) | Resolución espacial (m) | Archivo histórico (año) | Número de bandas (número) |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Landsat (L5 TM, L7 ETM+, L8 OLI) | 16 | 30 | 1984 - actualidad | 7 (L5), 8 (L7), 11 (L8) |
| MODIS (MOD13Q1) | 16 | 250 | 2001 - actualidad | 2 |
| Sentinel 2 (2A y 2B) | 5 | 10/20/60 | 2017 - actualidad | 13 |
| CMEMS (CHL) | 1 | 1000 | 1997 - actualidad | 1 |
| CMEMS (Temperatura) | 1 | 1000 | 1982 - actualidad | 1 |

Datos Landsat

El programa *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) es fruto de la cooperación entre la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) y el *United States Geological Survey's* (USGS).

Las imágenes Landsat utilizadas presentan resolución espacial de 30 x 30 metros y un periodo de revisita de 16 días, con un histórico desde 1984 hasta la actualidad. Incluye datos de Landsat 5 TM (sensor *Thematic Mapper*), Landsat 7 ETM+ (sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus*) y Landsat 8 OLI (sensor *Operational Land Imager*).

Con estas imágenes, se genera un compuesto mensual sintético de los índices de verdor Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, en adelante NDVI) y Índice de Vegetación Mejorado (*Enhanced vegetation index*, en adelante EVI).

En este informe se presentan únicamente los resultados obtenidos con el índice EVI.

Datos MODIS

El espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS) es un sensor multispectral a bordo de los satélites TERRA y AQUA, lanzados en 1999 y 2002 respectivamente. Pertenecen al grupo de los proyectos Earth Observing System (EOS) de la NASA.

Se utiliza el producto sintético de la NASA MOD13Q1, generado cada 16 días con una resolución espacial de 250 metros. El producto MOD13Q1 proporciona dos capas de vegetación primaria (EVI y NDVI). El algoritmo mantiene como válido el máximo valor registrado dentro de un intervalo de tiempo concreto con el objetivo de minimizar el efecto de las nubes y conseguir la máxima calidad y representatividad del período de 16 días.

En este proyecto se utiliza el Índice de Vegetación Mejorado (EVI), dado que presenta mayor sensibilidad en las regiones de alta biomasa.

Datos Sentinel 2

Los Sentinel son un conjunto de satélites diseñada para proporcionar abundantes datos e imágenes al programa Copernicus, de la Comisión Europea.

Estas imágenes presentan una resolución espacial de 10 x 10 metros, un periodo de revisita de 5 días y con un histórico desde 2017 hasta la actualidad. Está formado por dos satélites: Sentinel 2A y 2B, los cuales incorporan el sensor *Multispectral Instrument* (en adelante MSI). Se analiza el índice de vegetación EVI, así como el índice de masa de agua (MNDWI).

Servicio de Vigilancia Ambiental Marítimo (en adelante CMEMS).

El Servicio de Vigilancia Medioambiental Marina de Copernicus proporciona información de referencia regular y sistemática sobre el estado físico y biogeoquímico, la variabilidad y la dinámica de los ecosistemas oceánicos y marinos, relativa tanto al océano mundial como a los mares regionales europeos.

Se descargan imágenes diarias de productos de temperatura superficial (en adelante SST) y clorofila (en adelante CHL) generados con una resolución espacial de 1x1km o 4x4 km y con un histórico desde 1982 hasta la actualidad en el caso de la temperatura superficial del mar y desde 1997 hasta la actualidad de clorofila. Con estas imágenes, se generan un compuesto semanal de las dos variables analizadas en los parques marítimos – terrestres (Parque Nacional Marítimo – Terrestre de las Islas Atlánticas y Cabrera)

3.2. ÍNDICES DE TELEDETECCIÓN UTILIZADOS

3.2.1. Enhanced vegetation index (EVI)

El Índice de Vegetación Mejorado es empleado en el análisis de superficies con grandes cantidades de clorofila, dado que mayor sensibilidad en las regiones de alta biomasa:

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(MIR + C \times RED - C2 \times BLUE + L)}$$

Los valores oscilan entre - 1 y 1, siendo vegetación los que se encuentran entre 0 y 1.

3.3. PREPROCESADO DE LAS IMÁGENES SATÉLITALES DEL SISTEMA REMOTE

A continuación, se presentan la metodología empleada en el preprocesado de las imágenes satelitales. Desde el punto de vista técnico, las herramientas utilizadas están desarrolladas en Google Earth Engine (GEE) y en los lenguajes Python y R.

3.3.1. Preprocesado de las imágenes Landsat.

En la Figura 21 se expone el flujograma de trabajo llevado a cabo en el preprocesado de las imágenes Landsat.

En la descarga se obtendrán las imágenes mensuales del índice EVI a partir de las imágenes Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, con nivel de procesamiento L2 (Surface Reflectance) en formato tif.

Debido a que existen pequeñas diferencias entre las características espectrales del sensor TM y ETM con respecto al sensor OLI, se ha realizado la armonización de la reflectancia superficial de los sensores TM y ETM+ con la reflectancia superficial del sensor OLI, mediante la transformación lineal del espacio espectral ETM + al espacio espectral OLI de acuerdo con los coeficientes de la pendiente (slopes) y el intercepto (itcps) presentados en Roy et al. (2016).

Una vez que se tienen las imágenes descargadas, se realiza una preparación de las imágenes, en el cual se modifican valores nulos, se recortan las imágenes al margen del área de influencia socioeconómica, se realiza una depuración de valores anómalos producto de nubes y sus sombras principalmente; y finalmente, se eliminan los valores que se encuentren por encima de 1 o por debajo de 0.

Para incrementar el porcentaje de datos disponibles en toda la serie temporal, se aplica una interpolación lineal entre los valores del píxel en los compuestos mensuales anteriores y posteriores al compuesto mensual sin dato.

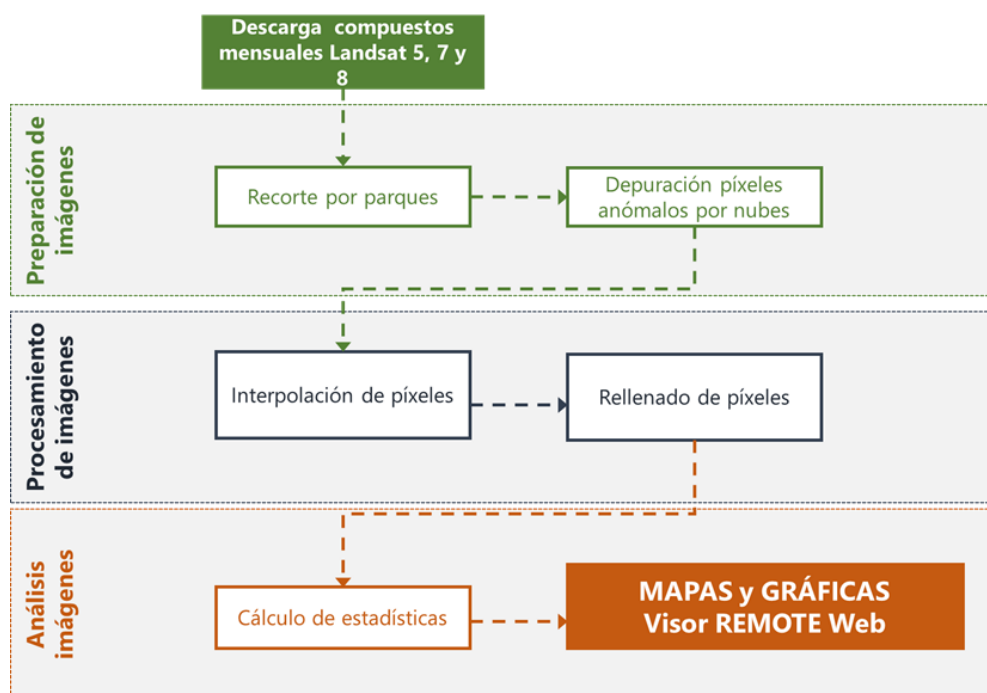


Figura 21. Metodología de trabajo en el sistema REMOTE - Landsat.

3.3.2. Preprocesado de las imágenes MODIS

En el caso de MODIS (Figura 22), se descargan las teselas que conforman todo el territorio nacional creando un mosaico. Cabe destacar que el compuesto generado en el producto MOD13Q1 selecciona píxeles con más de un 70% de homogeneidad en su cobertura vegetal.

Previo a la creación de dicho mosaico, las imágenes son recortadas a nivel nacional y son procesadas de acuerdo con diferentes niveles de filtrado de calidad (Reyes et al., 2017),



a partir de las de las bandas de calidad que presenta el producto. En él se eliminan los píxeles correspondientes a aerosoles, nubes y sombras de nubes. En el caso del píxel cubierto de hielo/ nieve, se ha transformado a 0, dado que no contiene vegetación con actividad fotosintética.

Una vez filtrada la información, se re proyecta el mosaico, se recorta por parque nacional y se aplica una interpolación lineal entre los valores del píxel en los compuestos quincenales anteriores y posteriores al píxel del compuesto quincenal sin dato.

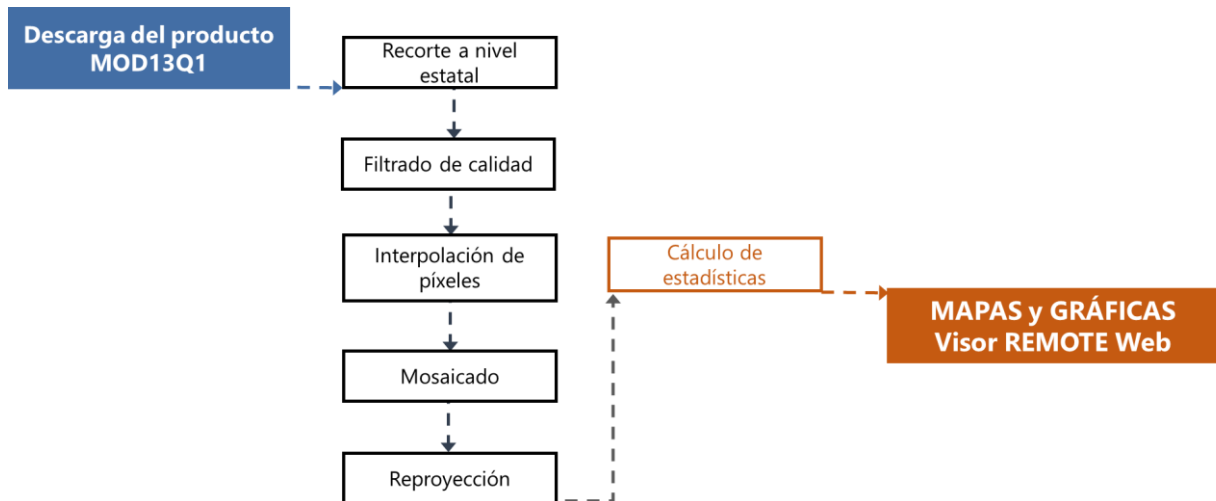


Figura 22. Metodología de trabajo en el sistema REMOTE - MODIS.

3.3.3. Preprocesado de las imágenes Sentinel 2

Para cada Parque Nacional se descargan compuestos quincenales sintéticos de las imágenes del índice EVI de Sentinel 2 desde 2017 hasta la actualidad, mientras que únicamente se descarga el índice de extracción de la lámina de agua para el Parque Nacional de Doñana y Tablas de Daimiel.

De esta forma, cuando se disponga de un histórico consolidado, se realizará un estudio similar al realizado por REMOTE para MODIS y Landsat, pero considerando compuestos quincenales en lugar de mensuales como unidad temporal básica para Landsat. El esquema mostrado en la figura 3 sirve como resumen de esta metodología.

3.3.4. Preprocesado de los productos de CMEMS (CHL y SST)

En la Figura 23 se expone la metodología empleada en el preprocesado de los productos del medio Marino.

En cuanto a la descarga de los datos se lleva a cabo a través de peticiones al servidor *motu-client* de cada producto, en función de los argumentos que se deseen.

Para ello, se ha diseñado una sencilla interfaz de usuario (GUI), que permita al usuario seleccionar los productos que desea con las ventanas espaciales y temporales que más le interesen. De este modo, se descargan imágenes diarias de clorofila y temperatura superficial del mar Atlántico y el Mar Mediterráneo.

Seguido de esto, se generan los compuestos semanales de ambas variables, seleccionando el valor medio del píxel en esa semana y se recortan las imágenes por el área de estudio.

Finalmente, se calculan las medias de las áreas de estudio y sus desviaciones típicas y se generan gráficas con los resultados.

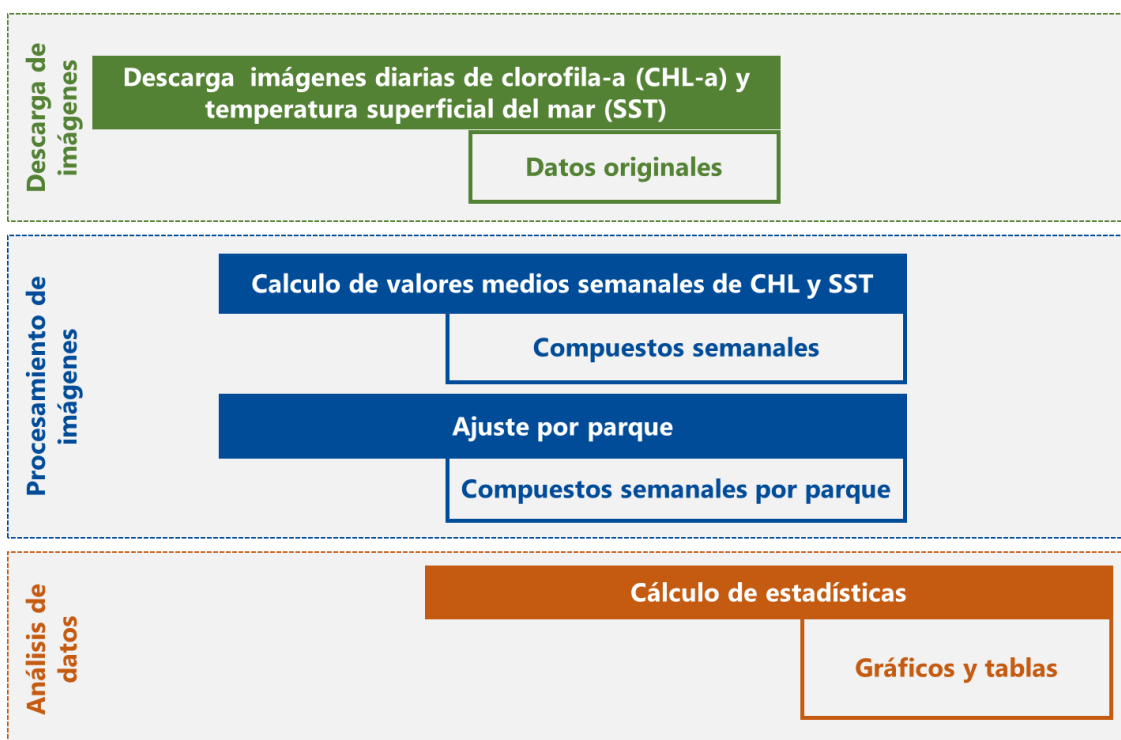


Figura 23. Metodología de trabajo en el sistema REMOTE - Marino.

3.3. COMPARATIVA SISTEMA REMOTE MODIS CON SISTEMA REMOTE LANDSAT

Se ha evaluado el potencial de uso de imágenes de los satélites Landsat frente a MODIS. Dicha evaluación constituye un paso más en el desarrollo de las potencialidades de REMOTE.

MODIS es ideal para supervisar los cambios a gran escala en la biosfera que están aportando nuevos conocimientos sobre el funcionamiento del ciclo global del carbono, y sus imágenes (en nuestro caso el producto MOD13Q1) tienen la ventaja de que cuentan con una serie temporal muy completa que se inició en 2001, proveyendo cada 16 días la mejor de las imágenes disponibles. Por este motivo, requieren mucho menos procesamiento que las imágenes Landsat, cuyos datos en ningún caso son diarios, lo que exige que para disponer de imágenes con la misma frecuencia de MODIS se hagan necesario un conjunto de tareas de procesamiento complejas.

Sin embargo, en parques pequeños o que muestran muy escasa cobertura vegetal (Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia, Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera, y Parque Nacional de Timanfaya) MODIS, a 250 metros de píxel, no es satisfactorio para un estudio detallado, debido a su reducida superficie, la presencia de áreas marinas, o la escasez de la cobertura vegetal.

Es por esto que el OAPN estimó la necesidad de explorar las posibilidades de uso de imágenes Landsat y Sentinel para informar sobre los procesos de cambio ecológico que están ocurriendo en los parques.

Landsat cuenta con una serie temporal desde 1984, siendo ésta superior a MODIS, que, si bien ofrece limitaciones para su uso, como puede ser que presenta una resolución temporal de 16 días frente a la imagen diaria que ofrece MODIS. La gran ventaja de usar Landsat es su mayor resolución espacial (30 x 30 m).

Una vez identificados en los informes anteriores de REMOTE los procesos de cambio ecológico preponderantes en los parques nacionales, se estimó la necesidad de evaluar las concordancias y discordancias entre las tendencias de cambio estimadas con los dos satélites para la serie temporal 2001-2021 (2001 es el año de inicio de MODIS), siguiendo la metodología de Alcaraz-Segura et al. 2010. Los resultados obtenidos muestran que se obtienen buenos porcentajes de concordancias, particularmente para los sistemas naturales que ocupan grandes extensiones en el interior de los parques.

Esto parece lógico dadas las diferencias de resolución espacial de los dos satélites. Estos porcentajes bajan cuando se trata de pequeñas manchas de vegetación. De acuerdo con estos resultados MODIS sigue siendo útil para mostrar patrones de comportamiento de los ecosistemas a la mesoescala, lo que puede ser interesante para evaluaciones a escala de red, o cuando se disponga de poca capacidad de almacenamiento de datos.

Sin embargo, cuando se quiere descender al nivel de sistema natural resulta mucho más conveniente Landsat, que arroja resultados de mayor detalle y permite vincular con menor incertidumbre los procesos de cambio observados a los sistemas naturales que se están evaluando. A esto hay que añadir que la era del Sistema de Observación de la Tierra (EOS) de la NASA está llegando a su fin, y que la NASA lleva ya algún tiempo debatiendo sobre el final de Terra, Aura y Aqua (https://specnet.info/modis-questionnaire/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=modis_response).

Los planes actuales son que la recogida de datos finalice probablemente en el verano de 2023, ya que Terra y Aqua se están desviando de sus tiempos nominales de cruce ecuatorial, con Terra adelantándose y Aqua teniendo tiempos de sobrepaso más tardíos. Tras la evaluación de los resultados obtenidos, se decidió exponer principalmente los datos procedentes de las imágenes Landsat.

3.4. INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS

Los ecosistemas están cambiando continuamente, y tal cambio puede ser dividido en tres categorías: (1) cambio estacional, generalmente determinado por la interacción entre el clima y los fenómenos biológicos de ritmo periódico (fenología); (2) cambio gradual, debido a la variabilidad interanual en las condiciones climáticas o a cambios en el uso y la condición de la superficie terrestre, y (3) cambios abruptos, causados por perturbaciones tales como la deforestación, urbanización, inundaciones o fuegos.

La detección de estos cambios puede proporcionar una información muy útil no sólo sobre la dinámica de los ecosistemas, sino también sobre los factores naturales o antrópicos que subyacen a tales cambios, y en consecuencia poner en marcha estrategias de gestión orientadas a la causa que los origina.

La principal ventaja de la teledetección es que tiene la capacidad de proporcionar mediciones consistentes del estado de la cubierta vegetal en áreas extensas, y de una forma repetida a lo largo del tiempo. Así, a través del análisis de las series temporales de imágenes de satélite, es posible el seguimiento de la dinámica de los ecosistemas a largo plazo, con un mínimo coste, y en grandes porciones de territorio.

La frecuencia temporal con la que se proveen las imágenes con las que se trabaja, permite la construcción de una curva anual que describe el comportamiento de los píxeles (porciones de territorio correspondientes a un ecosistema) de una manera dinámica a lo largo del año (Figura 24).

A partir de la parametrización de esta curva se obtienen **atributos que describen el funcionamiento del ecosistema** (Figura 24, Tabla 3), que pueden ser usados como indicadores ambientales debido a su significado ecológico (Pettorelli et al., 2005, Alcaraz-Segura et al. 2009).

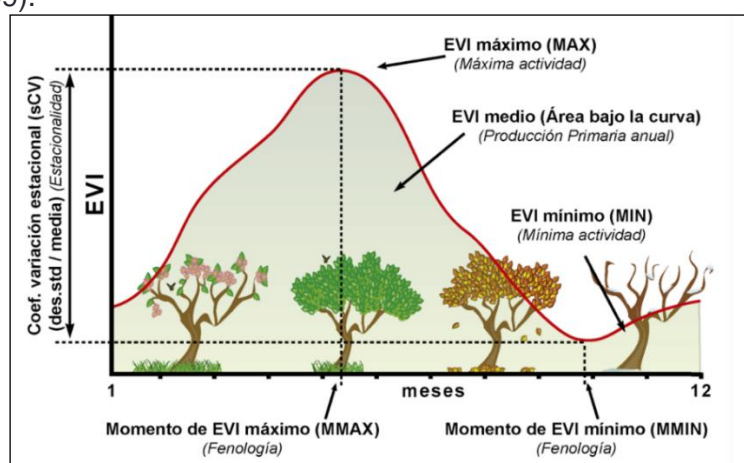


Figura 24. Curva anual índice de verdor. Dinámica del índice de verdor (EVI o NDVI) e indicadores del funcionamiento derivados de su parametrización. Cabello, J., Reyes, A.

Tabla 3. Indicadores sistema REMOTE. Indicadores utilizados en el sistema REMOTE para el seguimiento del funcionamiento de los ecosistemas: definición y significado biológico. Elaboración propia sistema REMOTE.

| Indicador | Tipo de métrica | Definición | Cálculo | Significado biológico |
|---|---|--|---|--|
| EVI | Puntual (un valor para cada compuesto mensual). Se obtienen 12 valores de EVI para cada año. | Índice de vegetación mejorado (EVI por sus siglas en inglés Enhanced Vegetation Index) | A partir de la actividad de la vegetación en las bandas electromagnéticas del infrarrojo cercano y el rojo. A diferencia del NDVI también tiene en cuenta la banda del azul para corregir las influencias de los aerosoles. | Es un indicador del vigor de la vegetación en un momento dado. REMOTE puede usar tanto el NDVI (índice de Vegetación Normalizado) como el EVI. Mientras que el NDVI es sensible a la clorofila, el EVI es más sensible a las variaciones estructurales del dosel vegetal. Ambos se complementan entre sí en estudios globales de vegetación y mejoran la detección de los cambios en la vegetación y la extracción de parámetros biofísicos del dosel vegetal. |
| EVI medio | Anual | Subrogado de la producción primaria | Se estima a partir del promedio a lo largo de una serie temporal de los valores anuales (compuestos a partir de los observados en las 12 fechas) de EVI observados | Representa un atributo funcional a nivel de ecosistema, ya que, considerando el modelo de Monteith, puede ser usado como un subrogado de la producción primaria neta (PPN) en áreas extensas. La PPN es considerada por GEOBON como una variable esencial para el seguimiento de la biodiversidad a escala global. Por otra parte, la PPN corresponde a las ganancias de carbono que realiza la vegetación, por lo que puede ser empleada para evaluar el papel de los ecosistemas en el secuestro de carbono, y, por tanto, en la mitigación del cambio climático. |
| Coefficiente de variación estacional del EVI | Anual | Subrogado de la estacionalidad en el verdor de la vegetación | Relación entre el valor medio de EVI y su desvío estándar intra-anual | Representa un atributo funcional a nivel de ecosistema, ya que proporciona una idea de la variabilidad intra-anual de la actividad de la vegetación y, por tanto, de la estacionalidad de las ganancias de carbono en el ecosistema. En general, cuando esta variabilidad se debe a cambios estacionales en la temperatura (ecosistemas limitados por energía), los valores altos de este índice están relacionados con la presencia de tipos de vegetación caducifolia, mientras valores bajos indican la presencia de vegetación perenne. En ecosistemas áridos (limitados por agua) la estacionalidad suele estar relacionada con la dinámica estacional de la precipitación. |
| Fecha del máximo valor de EVI | Anual | Subrogado de la fenología en el verdor de la vegetación | Identificación de la fecha en la que el EVI alcanza el mayor valor en el año. | Representa un atributo funcional del ecosistema ya que proporciona información de cómo afectan las variables meteorológicas al ciclo periódico o estacional de la capacidad fotosintética del dosel de la vegetación y, por tanto, a la fenología de las ganancias de carbono en el ecosistema. Los ciclos de vida de numerosos organismos heterótrofos están acoplados a la disponibilidad de biomasa vegetal, por este motivo el estudio de los cambios en este atributo puede ser útil para evaluar el efecto de los cambios climáticos estacionales sobre especies de preocupación para la conservación. |

De este modo se obtiene información referida a los siguientes aspectos de la dinámica del funcionamiento ecosistémico: 1) el rango de variabilidad natural o rango histórico de variabilidad de atributos funcionales relacionados con la capacidad fotosintética de los ecosistemas (condiciones de referencia); 2) la identificación de patrones graduales de cambio en dicha capacidad (tendencias); y 3) la detección de eventos u observaciones que no siguen un patrón esperado a lo largo de la serie temporal (anomalías) o en el año en curso (alertas).

La caracterización de estos tres componentes para evaluar el cambio se hace, en general, a partir de estadísticos sencillos. Así, las condiciones de referencia son derivadas a partir del promedio de los valores de verdor de la vegetación observados a lo largo de la serie temporal. Estos valores promedio son generados anualmente (métricas anuales de productividad, estacionalidad y fenología) o por compuestos (valores medios del índice de verdor para cada compuesto mensual).

Dado que no es posible asumir linealidad en los datos de las series temporales, para calcular las tendencias se emplean métodos no paramétricos, en este caso el test de tendencias de Mann-Kendall, con un nivel de significación (alfa) para el test establecido en 0.10.

De esta forma asumimos que existe sólo un riesgo del 10% al afirmar que existen tendencias de cambio cuando en realidad no las haya. En cuanto a las anomalías observadas en los parques nacionales, se ha analizado la diferencia entre el EVI de un momento de un año determinado y su promedio histórico para el mismo momento en toda la serie histórica.

Finalmente, las anomalías identifican aquellas observaciones que se desvían de la media estimada durante el periodo de estudio.

La información que proporciona el sistema REMOTE a través de mapas y gráficos sobre estos aspectos es masiva, es decir, no enfatiza el seguimiento de fenómenos o procesos concretos, por lo que en el informe que se presenta proporciona sólo una visión general de los cambios que están aconteciendo en el funcionamiento de los ecosistemas incluidos en los Parques Nacionales de España. Para aumentar la aplicabilidad de los resultados que proporciona el sistema REMOTE es conveniente plantear cuestiones e identificar entidades paisajísticas concretas para las que se requiera el seguimiento a largo plazo de atributos funcionales de los ecosistemas. En este sentido en cada parque se ha incluido el análisis de un sistema natural representativo, pero los cambios observados tendrán mayor potencia si son interpretados a la luz de preocupaciones concretas de gestión, tales como la evaluación de los efectos del cambio climático, de tratamientos silvícolas, o de la afección por plagas.

Paralelamente a este trabajo, se están identificando problemas de gestión de acuerdo con los gestores y científicos de los parques, que puedan tratarse específicamente a partir del análisis de las imágenes satelitales.

3.5. PAUTAS PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.5.1. Condiciones de referencia

Ofrecen una visión sobre la dinámica estacional media del verdor de la vegetación durante el periodo 1984/2021.

Como información complementaria, se incluyen los mapas y gráficas sobre los momentos de los mínimos y máximos del verdor calculados sobre el año medio obtenido para esta serie temporal (Figura 25).

Para la elaboración de estos mapas se ha escogido una gama de colores que va desde los marrones para las zonas con índices cercanos al cero, hasta los verdes intensos para los valores más elevados.

Esta gradación cromática facilita la interpretación de los mapas, ya que aporta una sensación de vegetación para los índices elevados, mientras que para los más bajos recuerda a zonas sin vegetación.



Figura 25. CONDICIONES DE REFERENCIA. Leyenda unificada para toda la Red de Parques Nacionales.

Este rango se inicia en el 0 para las zonas en las que el EVI es nulo, y llega a 1.0 como valor máximo representado.

3.5.2. Tendencias

Tendencia en el EVI medio (Productividad): Muestra la distribución espacial del cambio (tendencias) en la producción primaria (EVI medio anual). Marrones: descenso en el verdor durante la serie temporal. Verdes: incremento del verdor.

Tendencia en el coeficiente de variación del EVI (Estacionalidad): Muestra la distribución espacial del cambio (tendencias) en la estacionalidad del verdor (Coef. Variación EVI). Valores bajos (marrones) muestran zonas que son menos estacionales, mientras que los altos (verdes) muestran zonas cada vez más estacionales.

Tendencia en la fecha del momento máximo del EVI (Fenología): Muestra la distribución espacial del cambio (tendencias) en la fecha del máximo verdor. Los valores bajos (marrones) muestran que la fecha del máximo verdor se está adelantado, mientras que los valores altos (verdes) implican que el máximo verdor se atrasa.

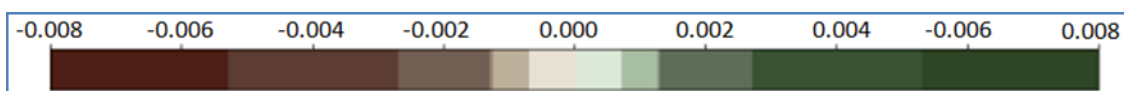


Figura 26. Leyenda utilizada para las tendencias.

3.5.3. Anomalías

Anomalías en el EVI 2021 con respecto a la media EVI histórica (Productividad): Muestra la distribución espacial de los valores anómalos. Valores altos indican que los valores en el año 2021 son superiores a la media, mientras que los valores bajos muestran valores inferiores a la media (Figura 27).

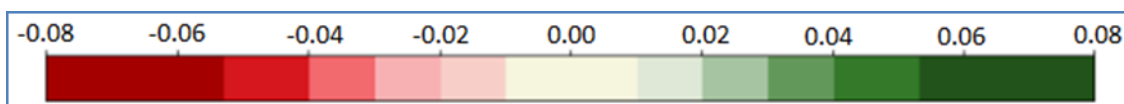


Figura 27. Leyenda de las anomalías.



4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, de los cuales se han generado mapas e imágenes ráster para interpretar el estado, tendencia y aparición de anomalías en el comportamiento del índice de verdor.

4.1. PARQUE NACIONAL DE AIGÜESTORTES I ESTANY DE SANT MAURICI

En la Figura 28 se expone la media del índice EVI - verdor - en el parque (Landsat desde 1984 hasta 2021, mientras que en MODIS, desde 2001 hasta 1984).

En los valles se sitúan las productividades más altas de la vegetación, con mayor magnitud en las laderas orientadas al sur. Alcanzada cierta altitud, la productividad disminuye, debido a la sustitución de los ecosistemas forestales del valle por ecosistemas de pastizales. Aun así, en las zonas de mayor altitud tienen una baja productividad, debido a los largos periodos en los que sus ecosistemas están bajo la nieve.

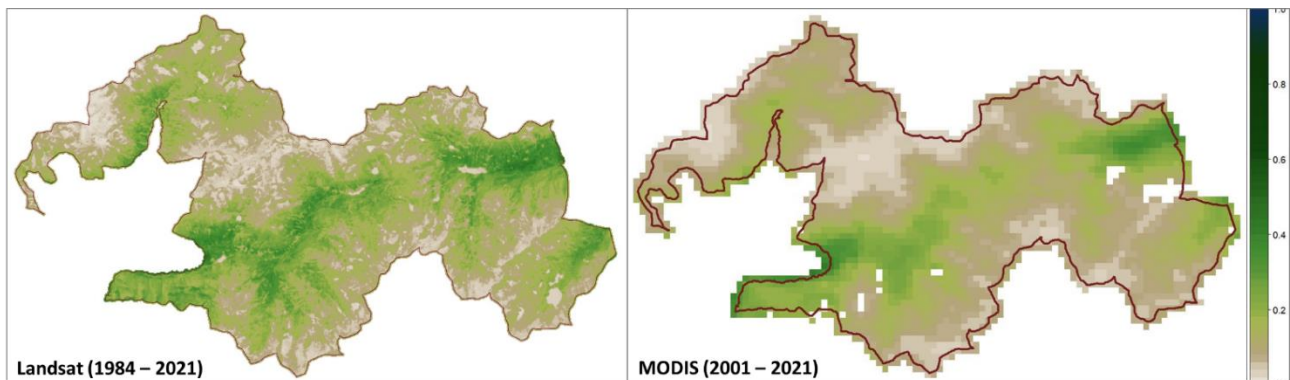


Figura 28. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

El verdor de la vegetación muestra su mínimo en el invierno y su máximo en las primeras fechas del verano. La productividad aumenta rápidamente a mediados de primavera, seguramente por el efecto del deshielo, hasta alcanzar su máximo en las primeras fechas del verano. A continuación, la productividad disminuye suavemente hasta alcanzar valores mínimos a finales de otoño (Figura 29).

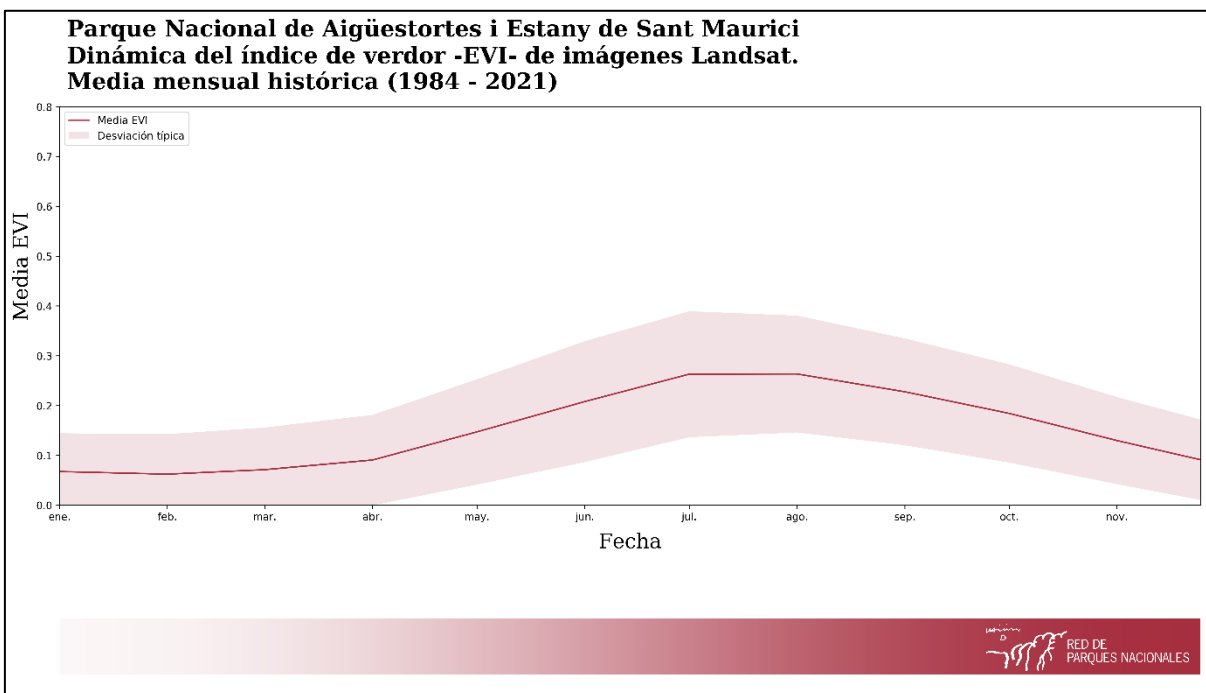
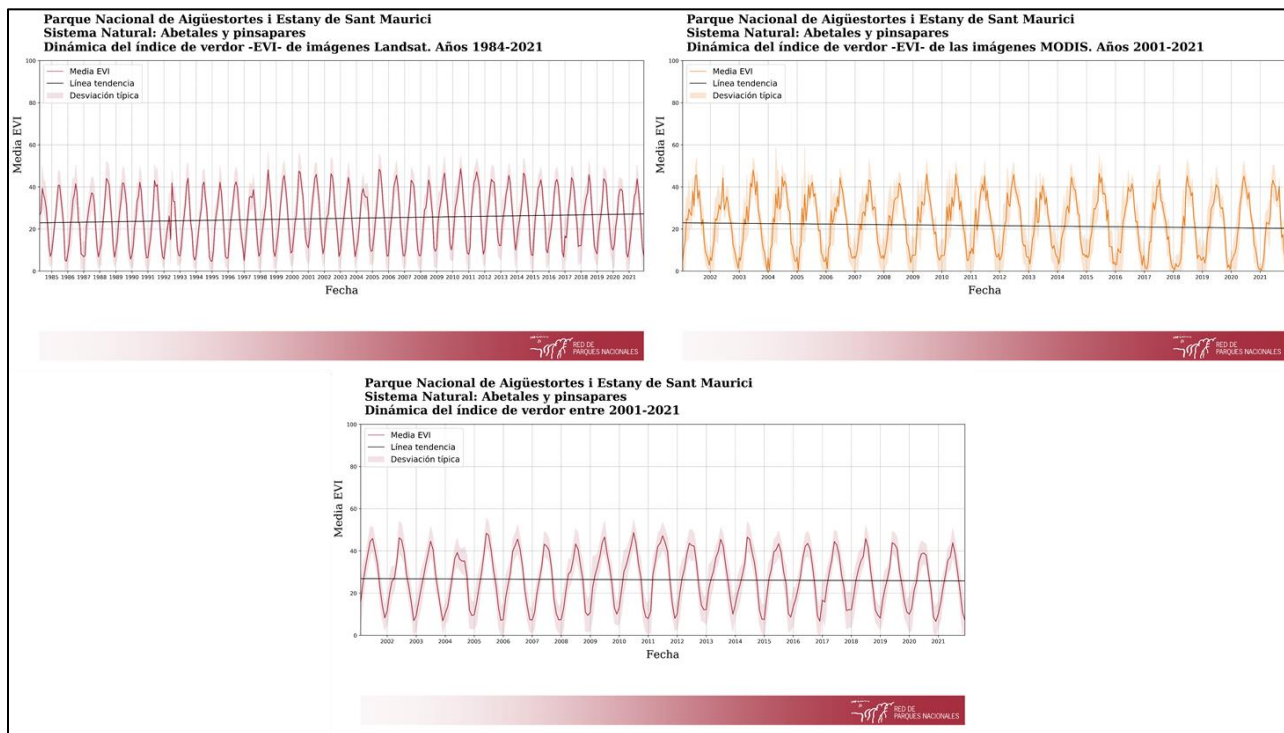


Figura 29. Media mensual histórica del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany de Sant Maurici (1984 - 2021)

En la Figura 30 se muestra la dinámica del índice del verdor, en Landsat (izquierda, desde 1984 hasta 2021) y MODIS (derecha, desde 2001 hasta 2021) de los principales sistemas naturales que conforman al parque. En todos los casos, la producción primaria neta tiene un comportamiento ascendente en Landsat. Lo mismo ocurre en MODIS excepto en el Sistema natural de Abetales que se aprecia, en ese período una línea descendente. Tomando ese mismo período de años sobre Landsat, se obtiene un resultado similar.



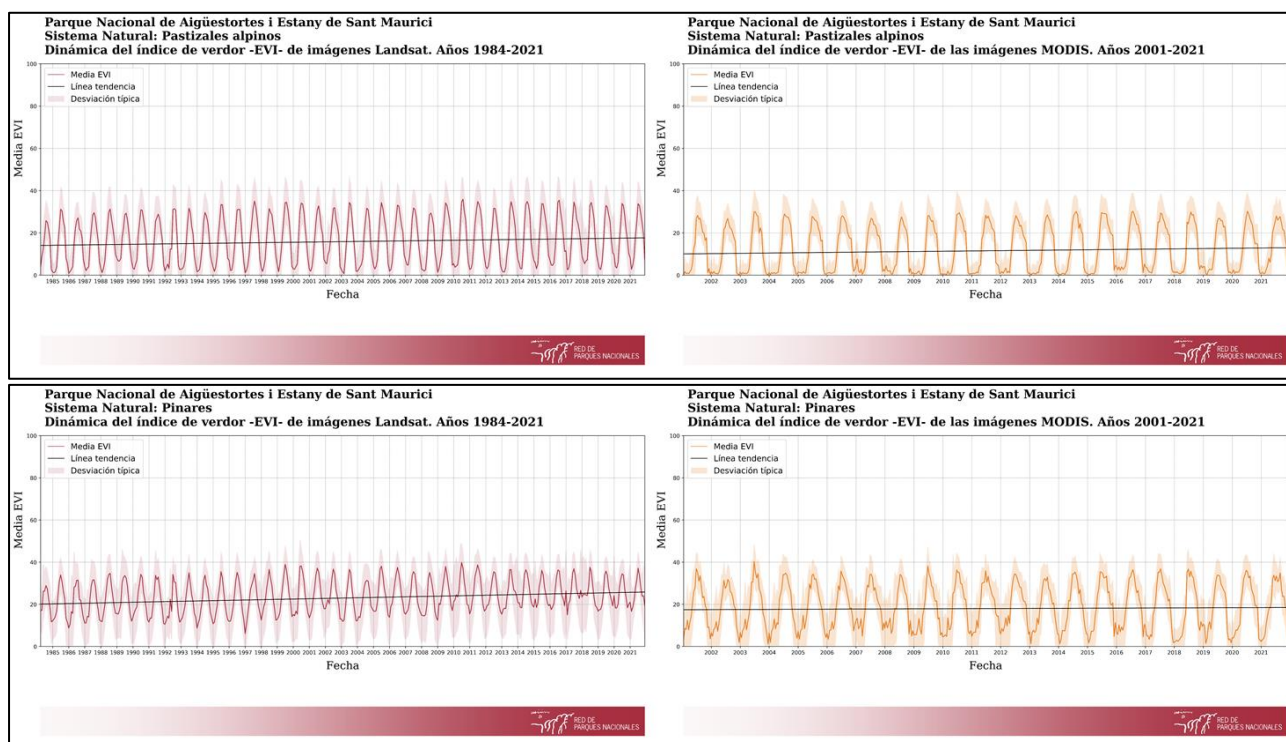
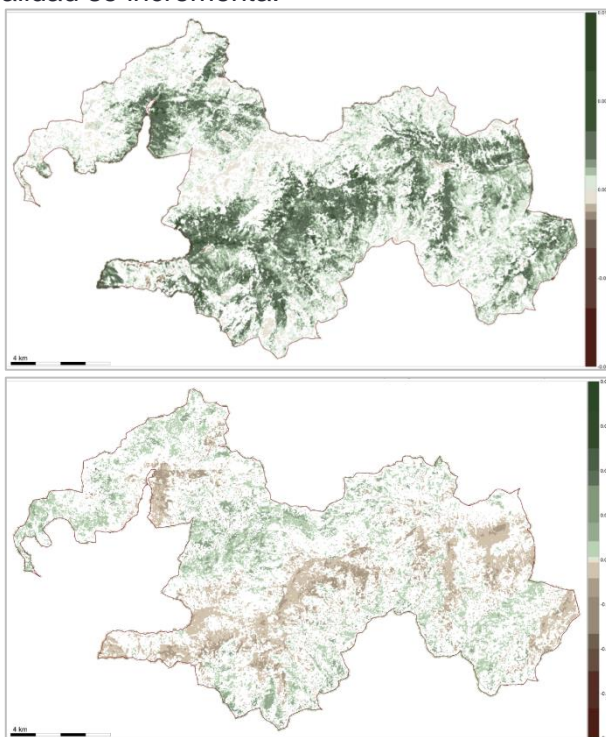


Figura 30. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 - 2021 y MODIS, 2001 - 2021)

En la siguiente figura se presenta la tendencia en cuanto a la producción primaria, la estacionalidad y la fenología (Figura 31). Las zonas de valle presentan tendencias en la productividad positivas, mientras que la tendencia en la estacionalidad es negativa, por lo cual se reduce ésta. En las zonas de mayor altitud, las tendencias en la productividad son negativas y la estacionalidad se incrementa.



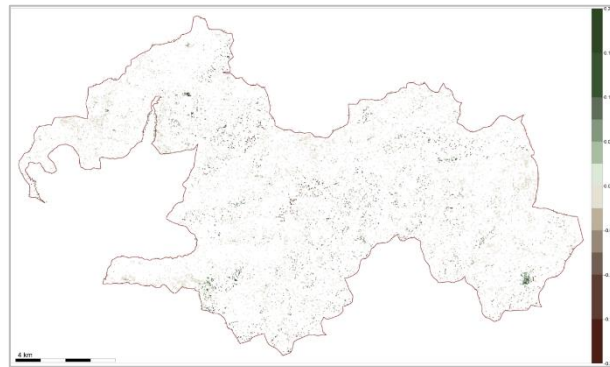


Figura 31. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10

En la Tabla 4 se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales.

Tabla 4. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Aigüestortes i Estany Sant Maurici.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|-----------------------|--|----------------|----------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Abetales y pinsapares | (+): 77,3 | (+): 1,44 | Retraso: 8,23 | <p><i>Abies alba</i> tiene una menor eficiencia en el uso del agua que otras especies de abetos de áreas más xéricas (Guehl y Aussenac, 1987; Guehl et al., 1991).</p> <p>Se espera que sea una especie altamente sensible a las sequías ante los escenarios de cambio climático aumentando su estrés hídrico (Macias et al., 2006)</p> |
| | (-): 0,44 | (-): 46,11 | Adelanto: 0,8 | |
| Pastizales alpinos | (+): 56,40 | (+): 3,36 | Retraso: 1,20 | <p>Cambios en la cabaña ganadera (Lasanta-Martínez et al., 2005) provocan subpastoreo en laderas y sobrepastoreo en las zonas planas (Montserrat, 2009).</p> <p>Se observan procesos de matorralización extendidos por la mayor parte del parque que están provocando la sustitución de los pastizales herbáceos por especies arbustivas y del matorral (Ninot et al. 2017).</p> <p>Colonización por árboles y arbustos en zonas de altura (Gartzia et al., 2014, García-Ruiz et al., 2015, Nadal-Romero et al., 2018). Se prevé que este proceso tendrá consecuencias geomorfológicas e hidrológicas, ya que los bosques consumen más agua que los pastizales, y la interceptación de la lluvia por parte del dosel reducirá la cantidad de lluvia que llega al suelo (Llorens y Domingo, 2007).</p> <p>La presencia de bosques en lugar de pastizales en la franja subalpina altera la acumulación y el derretimiento de la nieve (López-Moreno y Latron, 2008, Sanmiguel-Vallelado et al., 2020).</p> <p>El calentamiento climático refuerza estos cambios, particularmente en la línea de árboles (Camarero et al., 2015).</p> |
| | (-): 1,50 | (-): 47,38 | Adelanto: 7,54 | |
| Pinares | (+): 72,60 | (+): 22,33 | Retraso: 1,16 | <p>El aumento de la estacionalidad se da principalmente en las laderas con orientación norte.</p> <p>Se está observando la sucesión de los bosques de coníferas a bosques mediterráneos y submediterráneos latifoliados (Vidal-Macua et al, 2017). La ocurrencia de sequías juega un papel importante en la disminución de las coníferas y la expansión de las frondosas caducifolias.</p> <p>Algunas masas de pinar están afectadas por procesionaria (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>) en las zonas de 1500-2100 msnm. Se debe prestar especial atención a las masas de <i>Pinus uncinata</i> y <i>Pinus sylvestris</i> mesófilos ya que se prevé la expansión de esta plaga ante los futuros escenarios de cambio climático (Battisti et al., 2006).</p> <p>Retroceso descendente del bosque de <i>Pinus uncinata</i> (Camarero et al., 2015).</p> |
| | (-): 1,55 | (-): 9,36 | Adelanto: 7,36 | |



En la Figura 32 se presenta la cartografía de variaciones encontradas en los meses del año 2021 en relación a los valores medios de la serie temporal completa. El color verde indica un aumento de la vegetación mientras que el rojo una disminución.

De manera general, se observa como la productividad tiende a tener valores constantes o negativos en las zonas de valle, siendo más marcado en los meses de invierno que en los de verano.

En las zonas de alta montaña se aprecia valores generalmente altos, con pequeños parches negativos en los meses de invierno debido a la escasa actividad de la vegetación cuando hay nevadas.

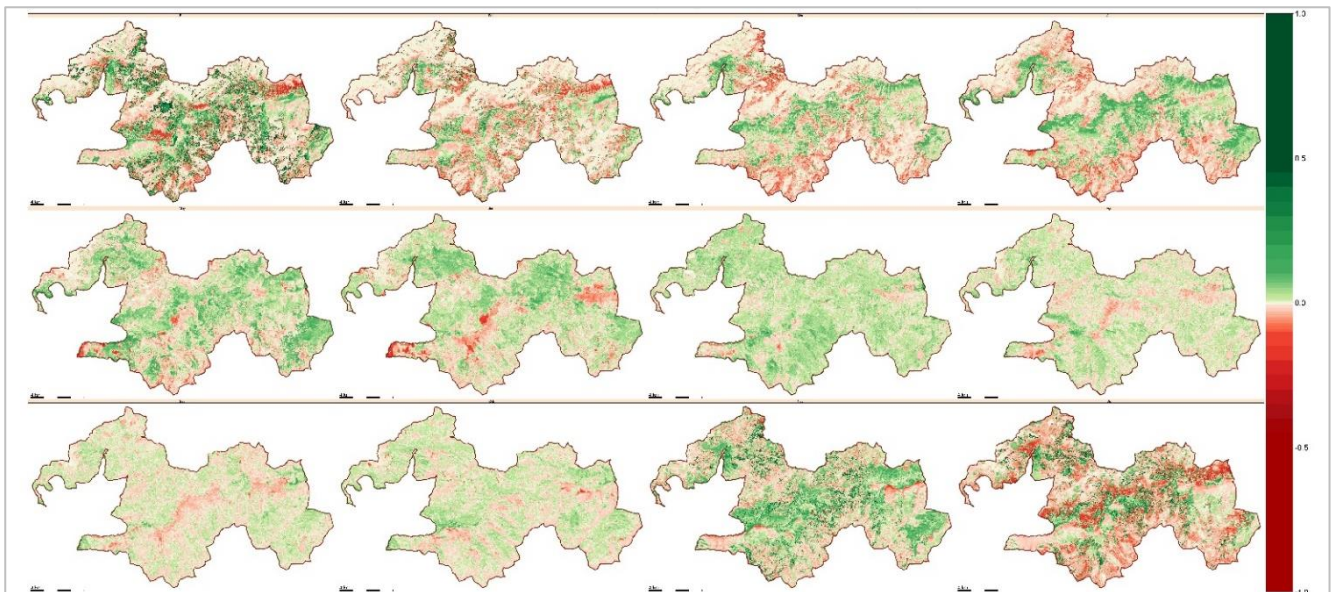


Figura 32. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021)

En la Figura 33 se presenta la anomalía media de la productividad del parque en el año 2021 respecto a la media de la serie temporal (1984 -2021). Los valles tienen una menor productividad respecto a la media histórica. Por el contrario, la vegetación de las cotas más altas presenta mayor productividad que la media histórica.

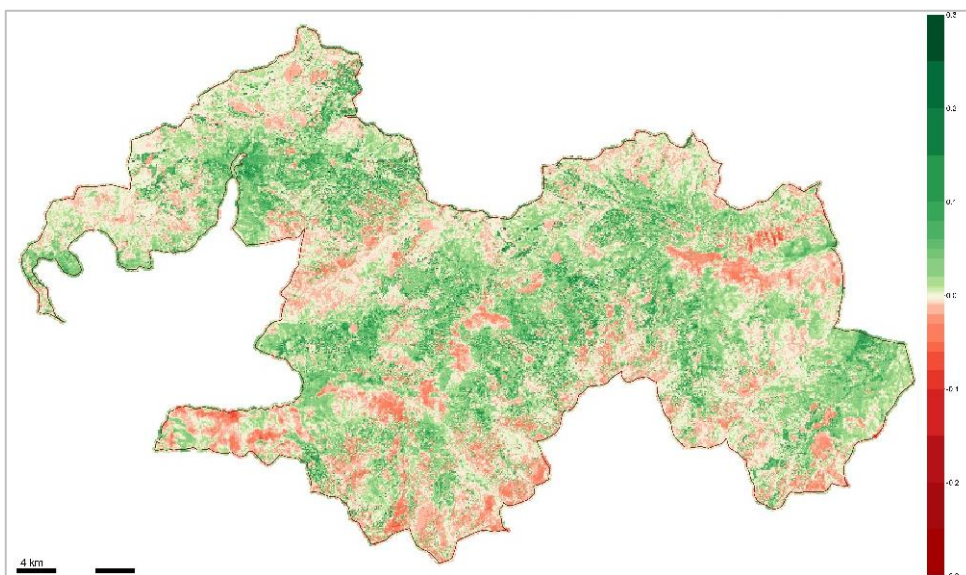


Figura 33. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

La dinámica del verdor en 2021 (Figura 34) ha sido similar a la media histórica, con veranos levemente por encima de la media, pero dentro de la varianza del periodo.

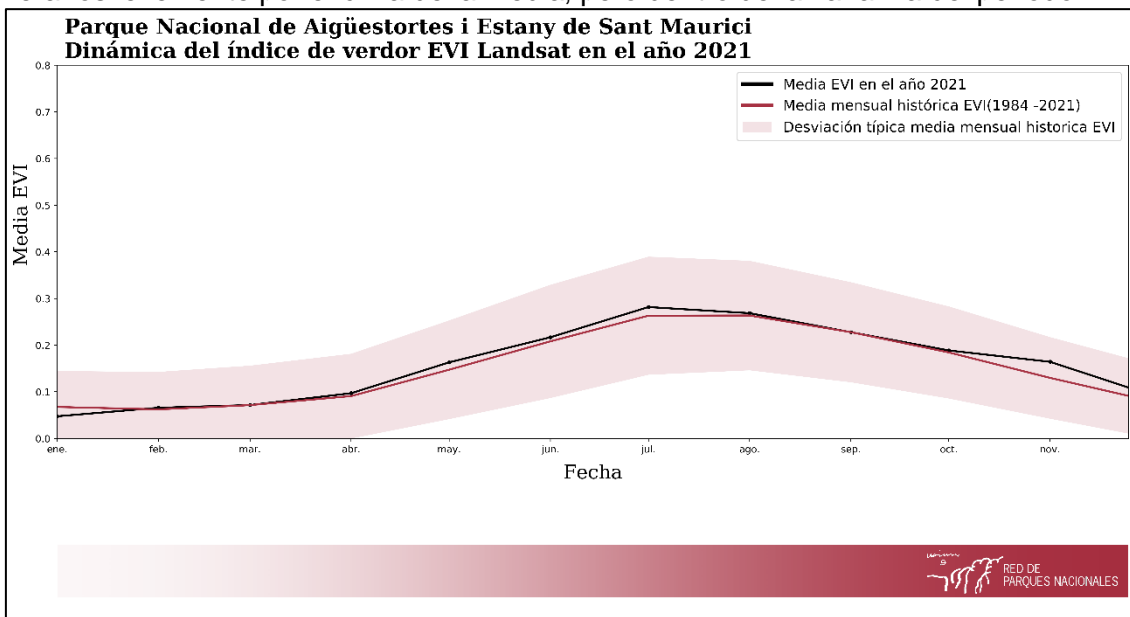


Figura 34. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

Con respecto a los sistemas naturales vegetales más representativos del parque (Figura 35), los valores del año 2021, en todos los casos, se encuentran en torno a la media, con valores levemente por encima en los meses de invierno y primavera principalmente.

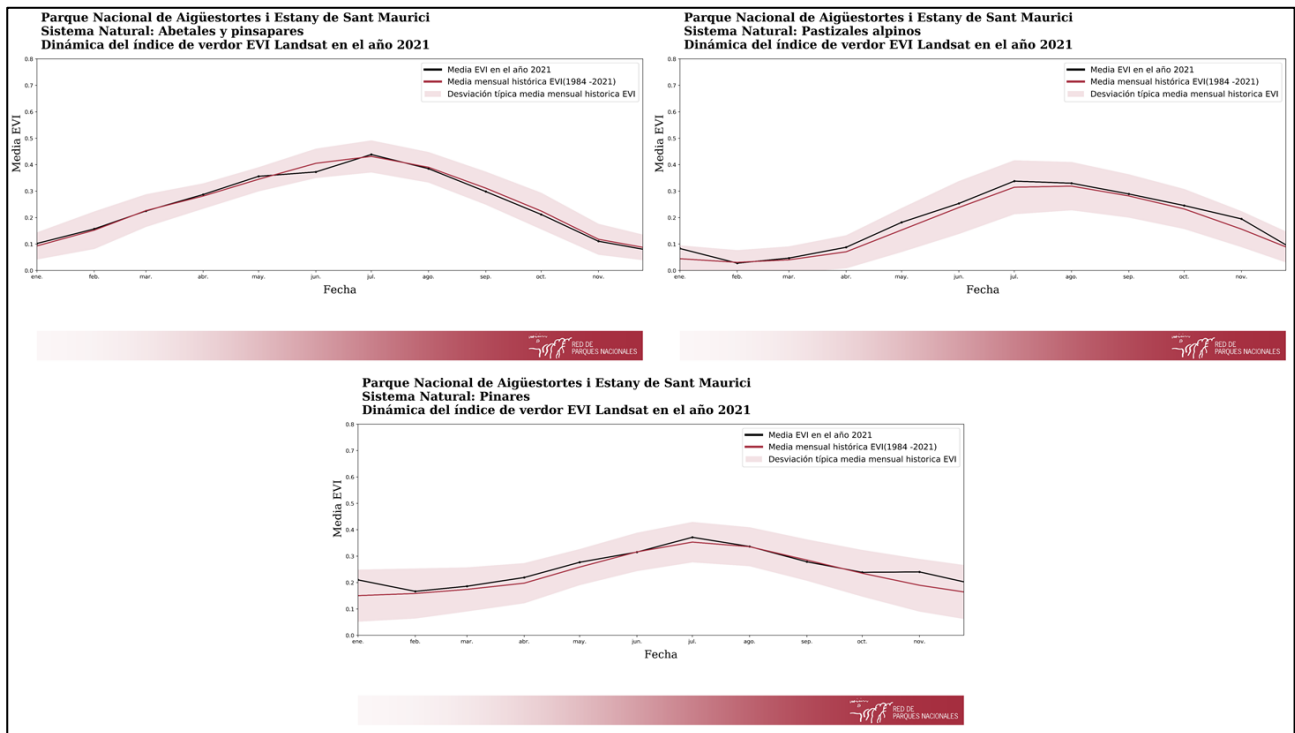


Figura 35. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales que conforman al parque.



4.2. PARQUE NACIONAL DE CABAÑEROS

En la Figura 36 se muestran los valores medios de la producción primaria en este parque. Las zonas boscosas son las que presentan una mayor productividad, mientras que el resto de sistemas naturales vegetales muestran valores inferiores.

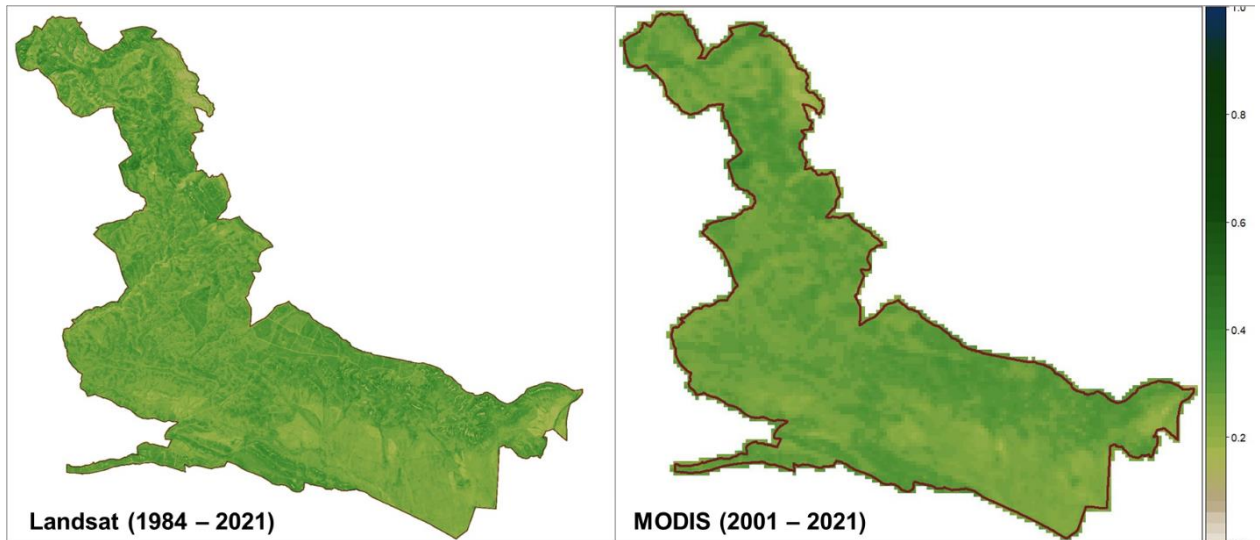


Figura 36. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

En cuanto a la dinámica anual del verdor, se comprueba que tiene un comportamiento homogéneo a lo largo del año con un pequeño pico en el mes de mayo (Figura 37).

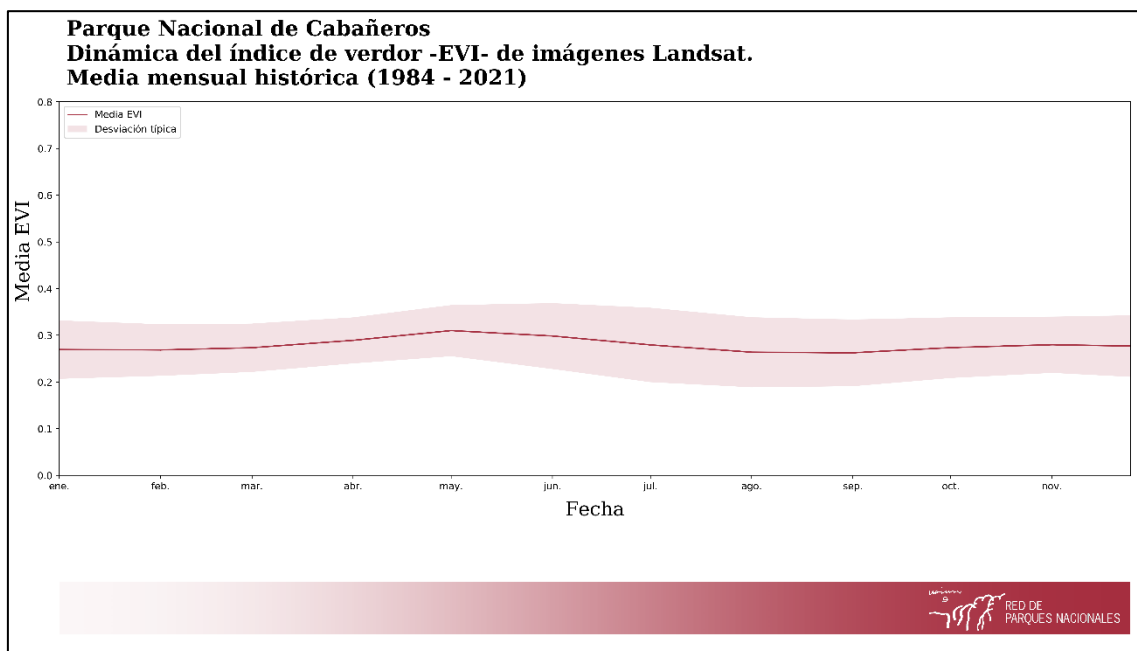


Figura 37. Media mensual histórica del Parque Nacional de Cabañeros (1984 - 2021)

En cuanto a los sistemas naturales vegetales principales de este parque, todos muestran una tendencia bastante estable a lo largo del tiempo, siendo las dehesas y los



quejigares, los que más oscilaciones presentan, incrementando su productividad, principalmente, en los meses de primavera (Figura 38).

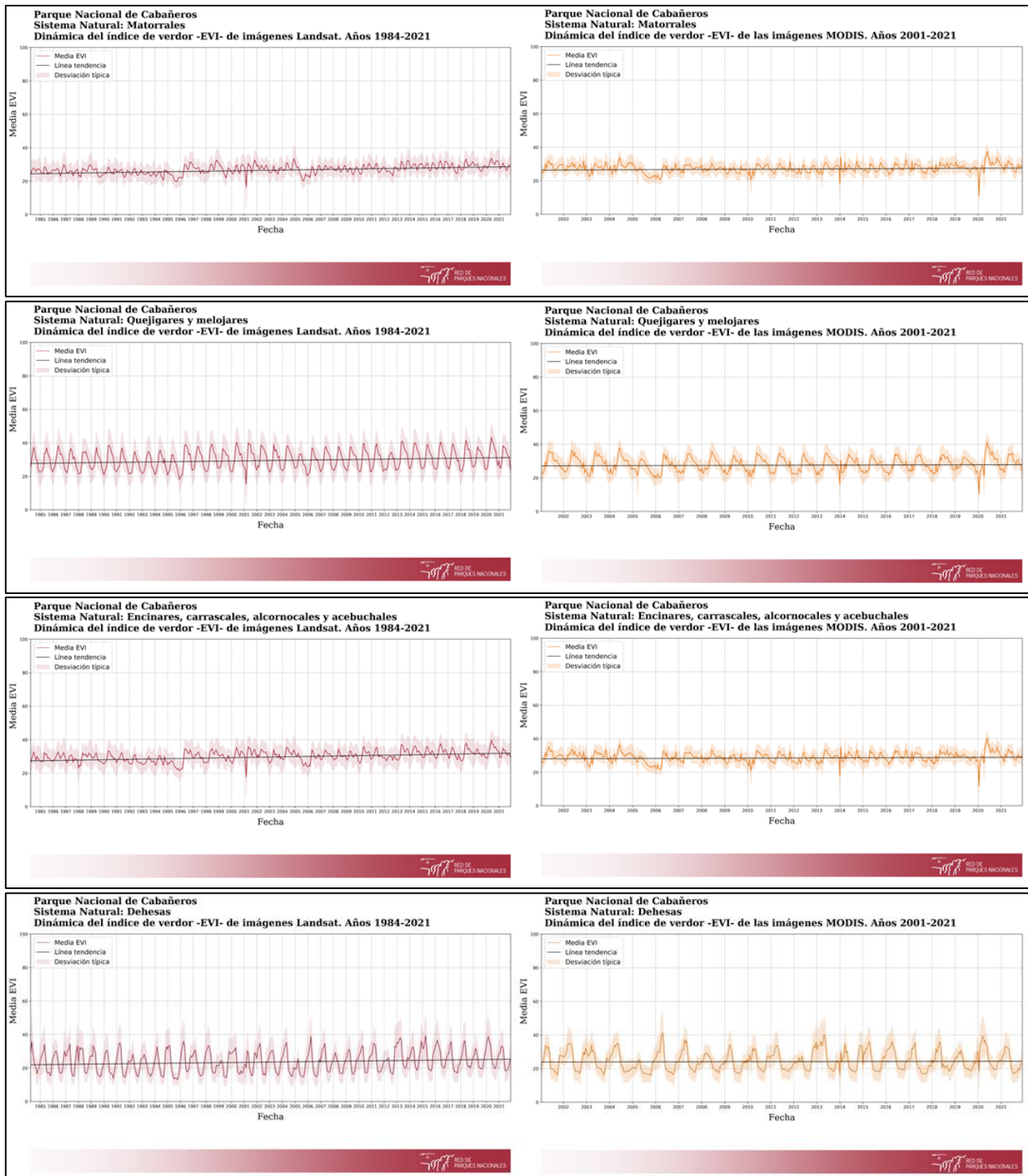


Figura 38. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 - 2021 y MODIS, 2001 - 2021)

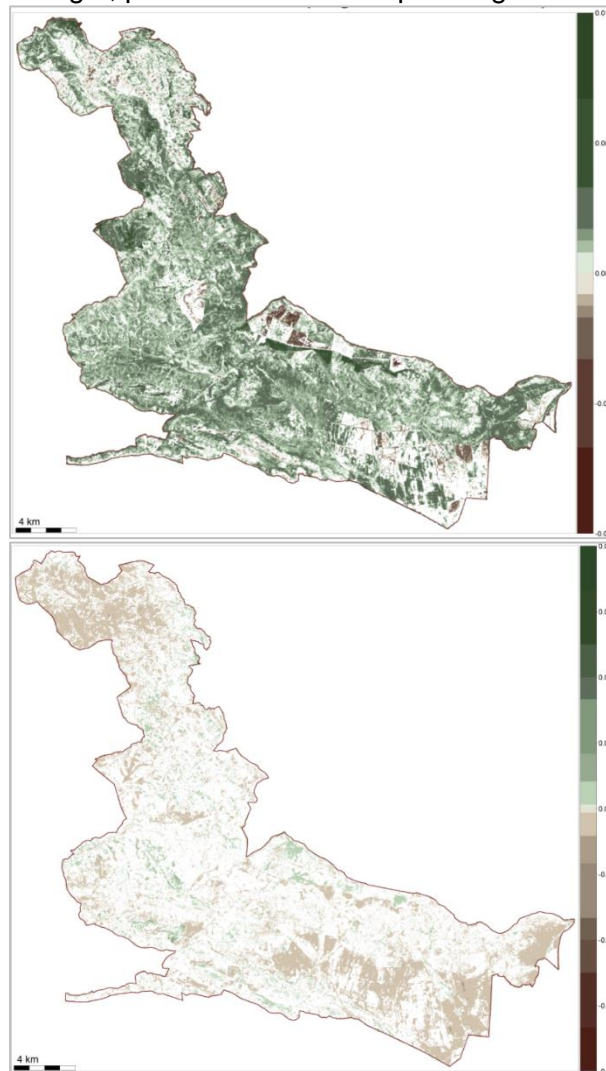
A continuación, se muestra la tendencia de la productividad primaria, la estacionalidad y de la fenología (Figura 39).



Los ecosistemas de pastizal, matorral y las dehesas tienen tendencia a incrementar la productividad primaria.

En cuanto a la estacionalidad, en los bosques del norte y del sur del parque la tendencia es decreciente, mientras que, en el resto del parque la estacionalidad se incrementa.

En cuanto a la fenología, presenta tendencias poco significativas en el parque.



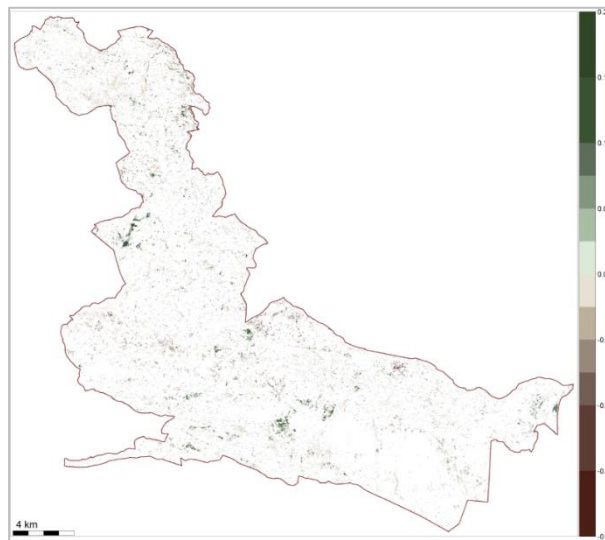


Figura 39. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la Tabla 5 se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales.

Tabla 5. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Cabañeros.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---|--|----------------|----------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Dehesas | (+): 54,62 | (+): 6,86 | Retraso: 4,40 | Procesos de matorralización en las áreas en las que disminuye la estacionalidad. Disminución de la escorrentía. Las áreas en las que se reduce la estacionalidad podrían corresponder a presión de herbivoría sobre el pastizal. |
| | (-): 6,60 | (-): 44,12 | Adelanto: 3,65 | |
| Encinares, carrascales, alcornoques y acebuchales | (+): 86,24 | (+): 6,47 | Retraso: 1,5 | Repoblación con especies autóctonas. Disminución de la escorrentía. |
| | (-): 1,42 | (-): 21,86 | Adelanto: 5,7 | |
| Matorrales | (+): 83,07 | (+): 5,10 | Retraso: 2,85 | Procesos de matorralización. Expansión de matorrales de <i>Cistus ladanifer</i> . Disminución de la escorrentía. Presión de herbivoría en las áreas con descenso en la estacionalidad. |
| | (-): 3,45 | (-): 27,98 | Adelanto: 5,95 | |
| Quejigares y melojares | (+): 68,98 | (+): 13,52 | Retraso: 1,54 | Los aumentos en productividad primaria neta y estacionalidad del dosel, podrían ser una respuesta al incremento de las temperaturas si no hay problemas de disponibilidad de agua en el suelo para los árboles, particularmente en las zonas cercanas a cauces de agua. Aumento de la cobertura de especies caducifolias. |
| | (-): 6,34 | (-): 32,4 | Adelanto: 9,2 | |

El gráfico espacio-temporal del año 2021 muestra como se ha incrementado la productividad en los meses de invierno y otoño con respecto a la media del periodo 1984 – 2021 (Figura 40).

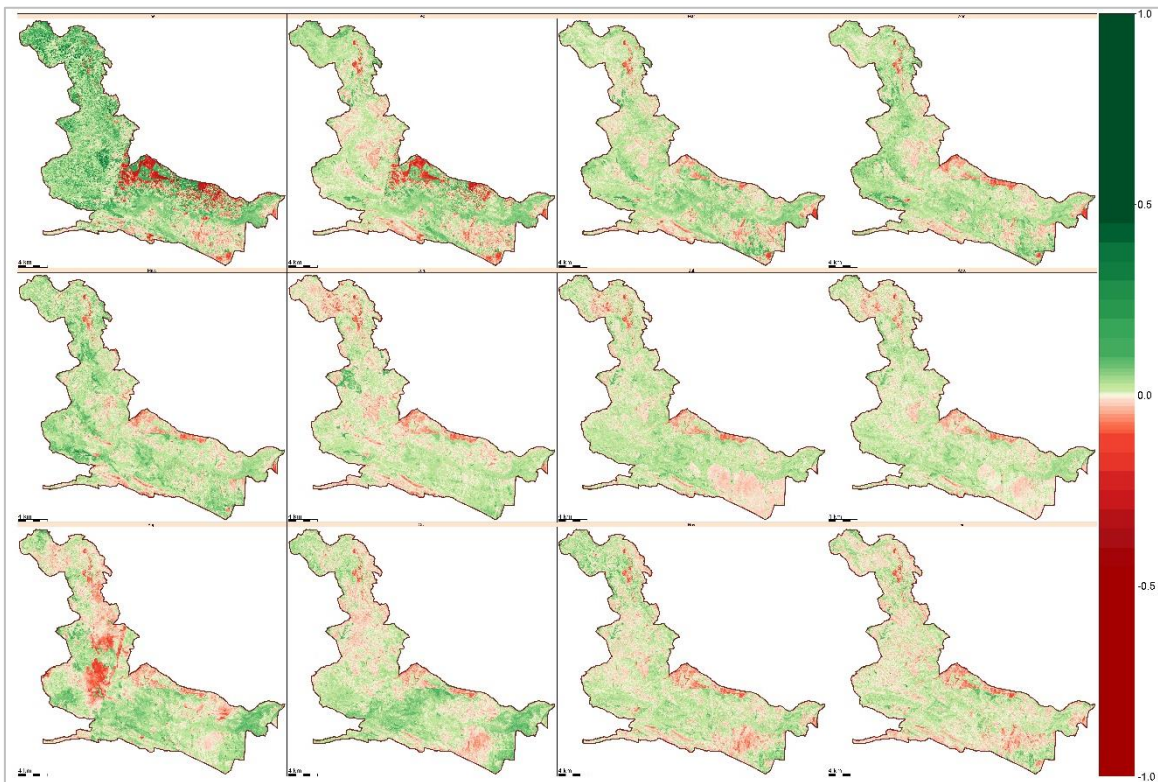


Figura 40. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021)

En cuanto a la productividad del año 2021 (Figura 41), ha sido mayor respecto a la media del periodo 1984 – 2021. Sin embargo, existen algunos píxeles que muestran lo contrario, concretamente en zona de pinares y matorrales del límite norte del sector oriental del parque.

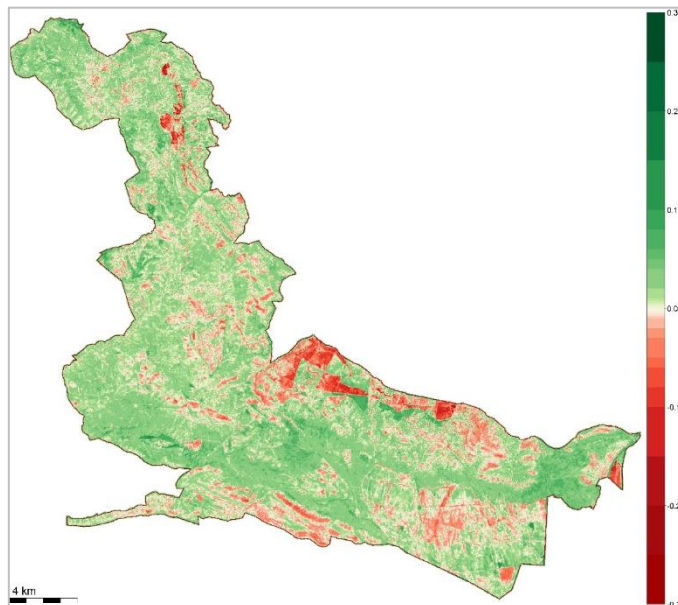


Figura 41. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

En la siguiente gráfica (Figura 42) se muestra la dinámica del verdor del año 2021 respecto a la media del periodo 1984 – 2021. Todos los meses se alcanzan valores ligeramente superiores a la media del periodo.

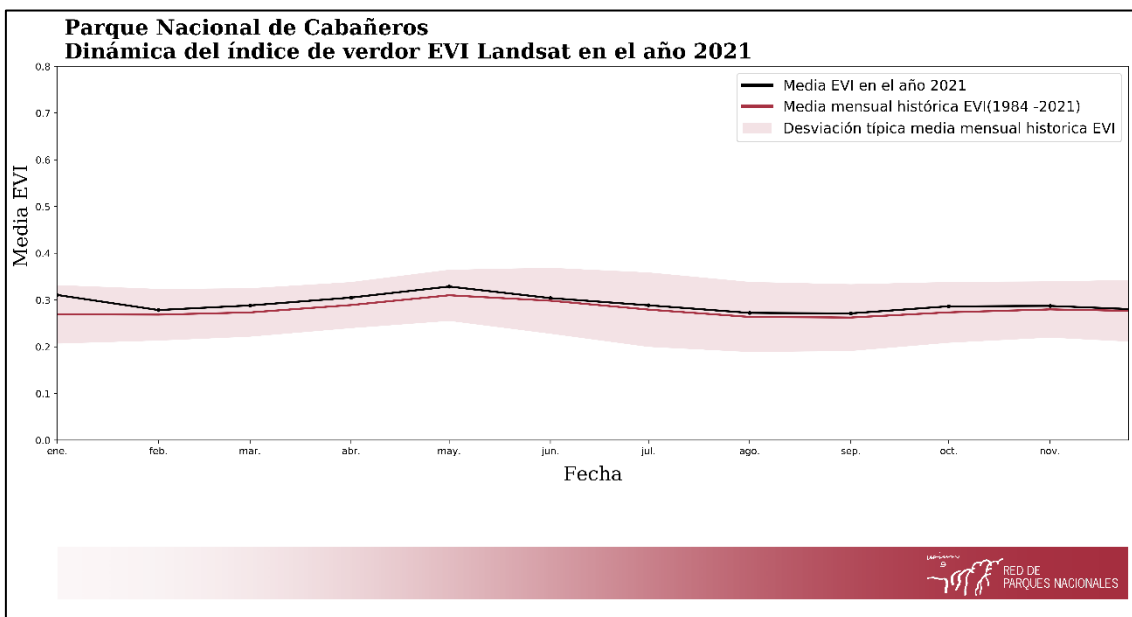


Figura 42. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

En los principales sistemas naturales vegetales del parque, la productividad en el año 2021 se encuentra levemente por encima de la media (

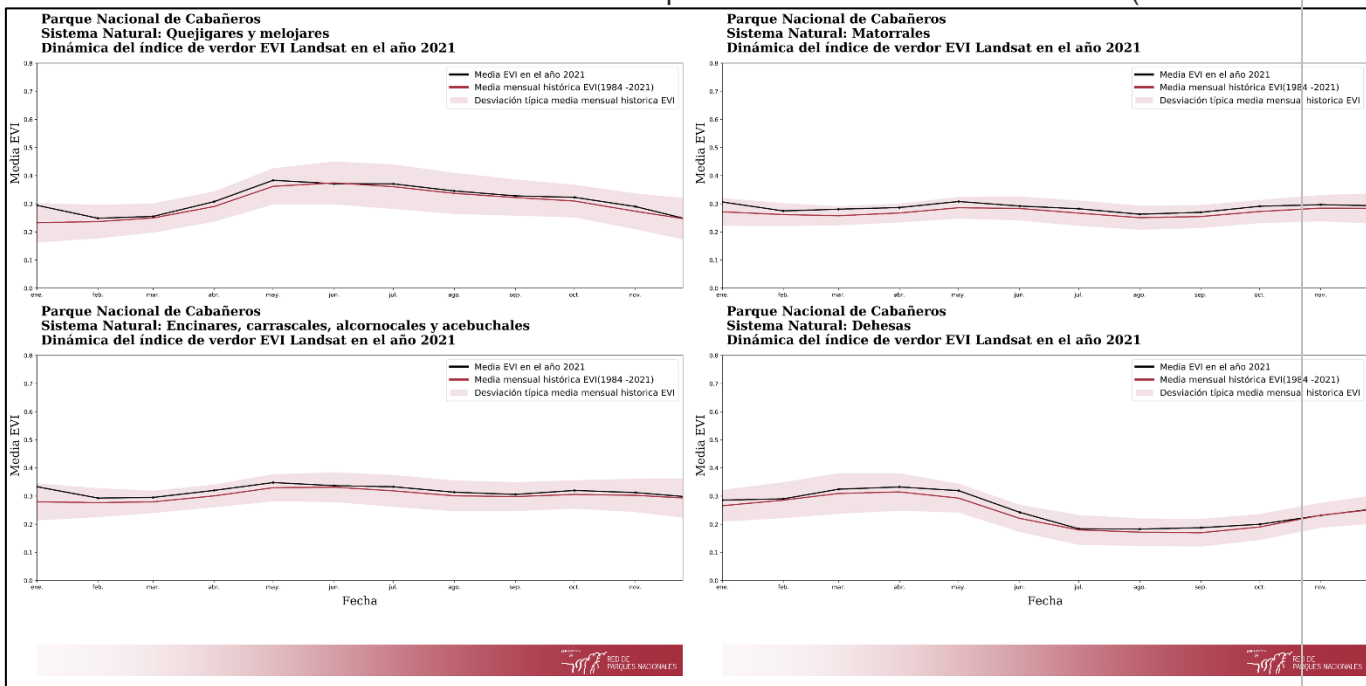


Figura 43), incluso, en el caso de los matorrales, se muestra cercana a alcanzar valores superiores de rango de desviación del periodo histórico.

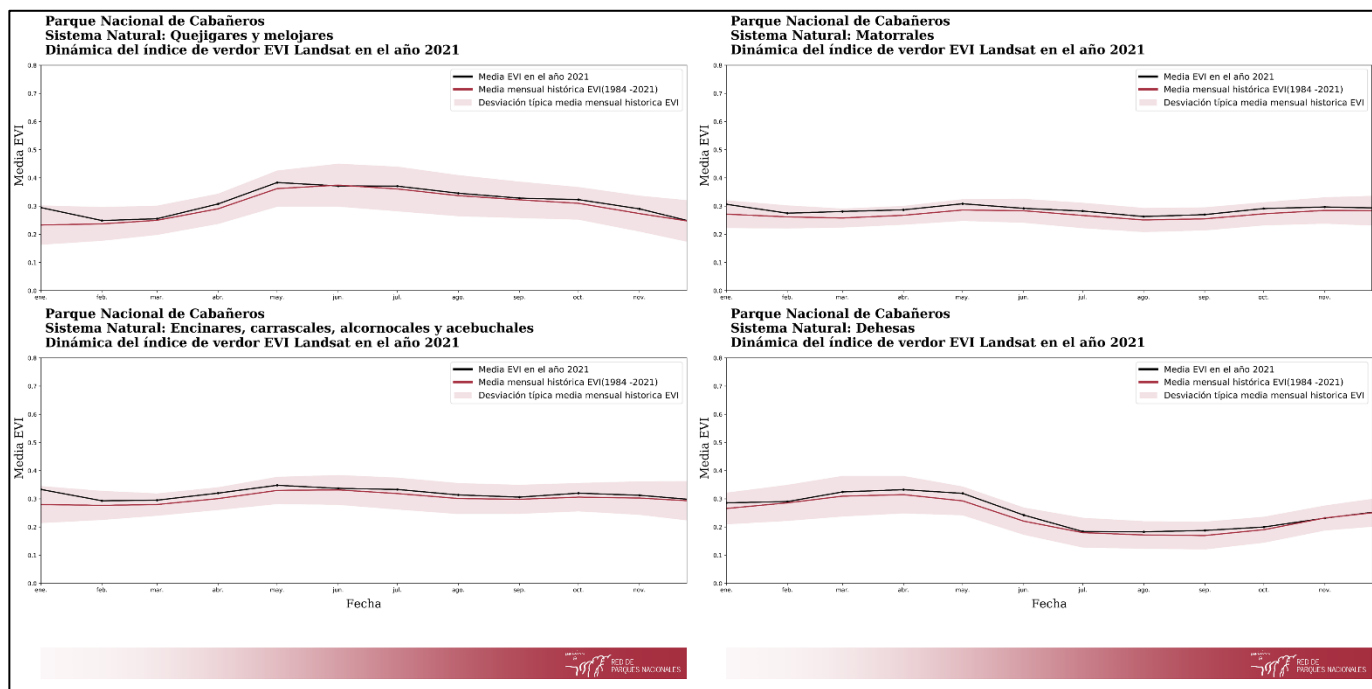


Figura 43. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales que conforman al parque.



4.3. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DEL ARCHIPIÉLAGO DE CABRERA

Este parque presenta una productividad bastante homogénea en toda su extensión, con valores levemente superiores en las laderas con orientación norte (Figura 44).

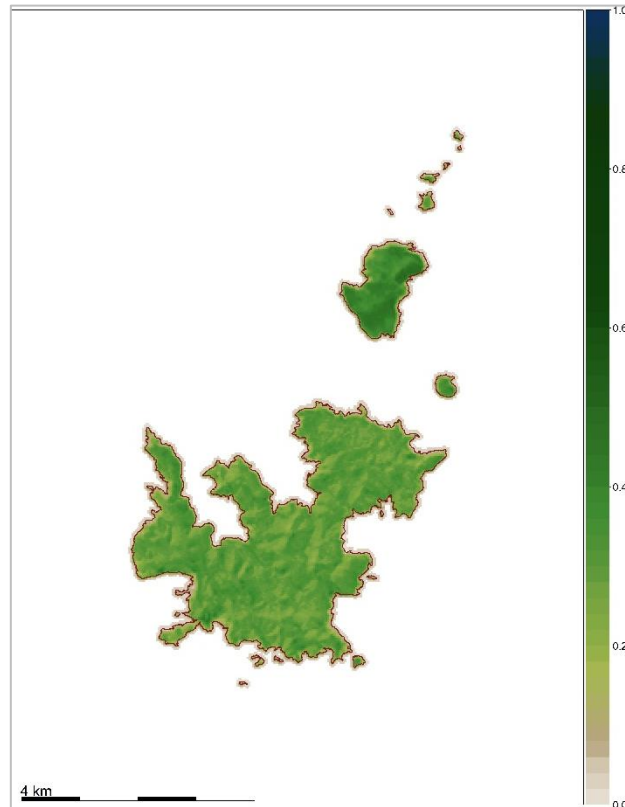


Figura 44. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat)

En cuanto a la evolución de la productividad en el periodo 1984 – 2021 (Figura 45), se muestra bastante homogénea a lo largo del año, con un pequeño decrecimiento en el verano.

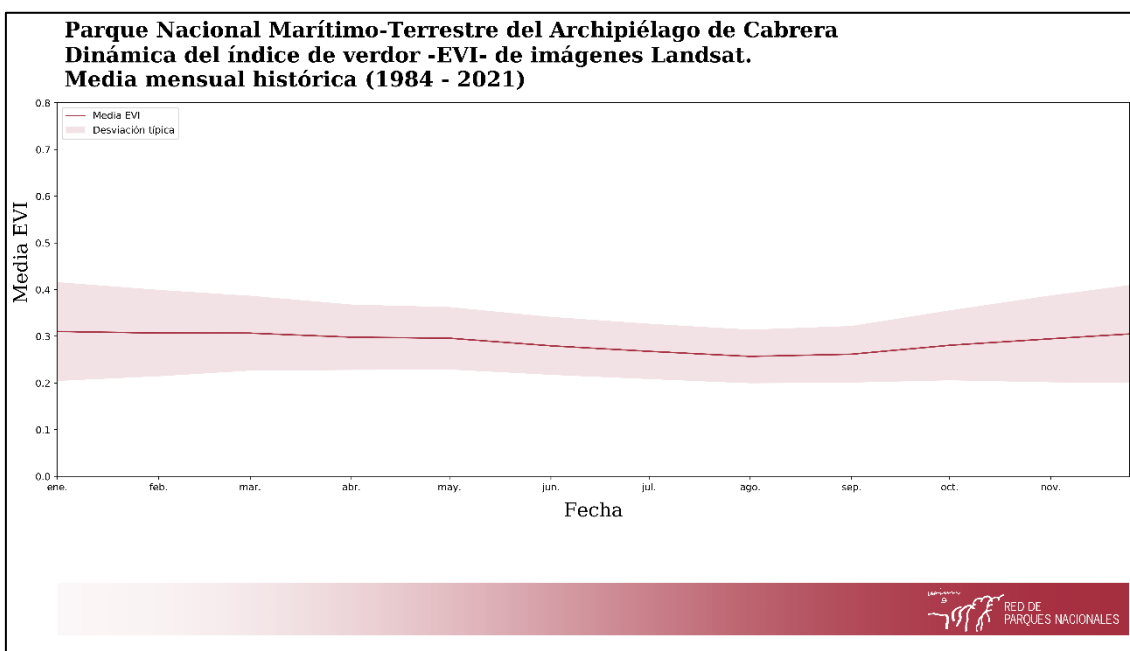
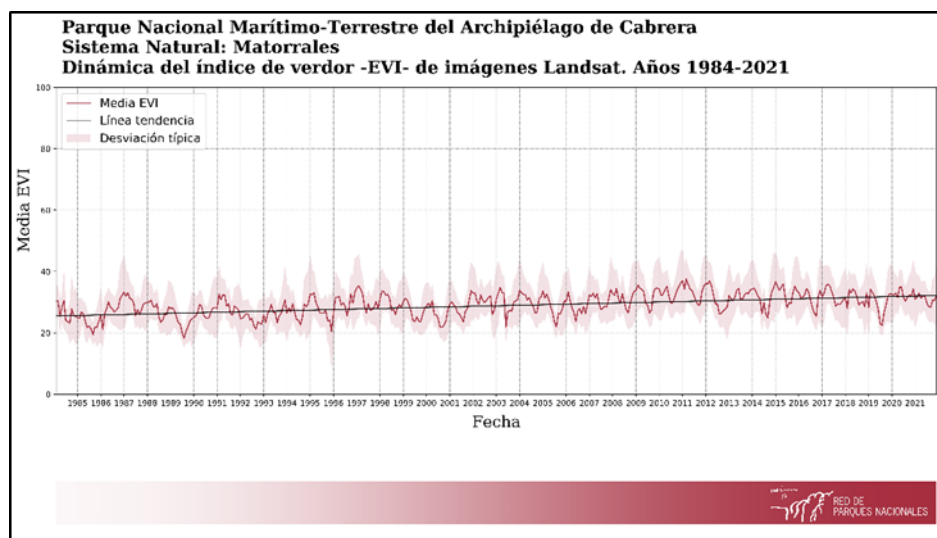


Figura 45. Media mensual histórica del Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrero (1984 - 2021)

En cuanto a los sistemas naturales vegetales (Figura 46), el EVI muestra una tendencia positiva en todos ellos, lo que implica un incremento de la productividad primaria a lo largo del periodo histórico (1984 – 2021).



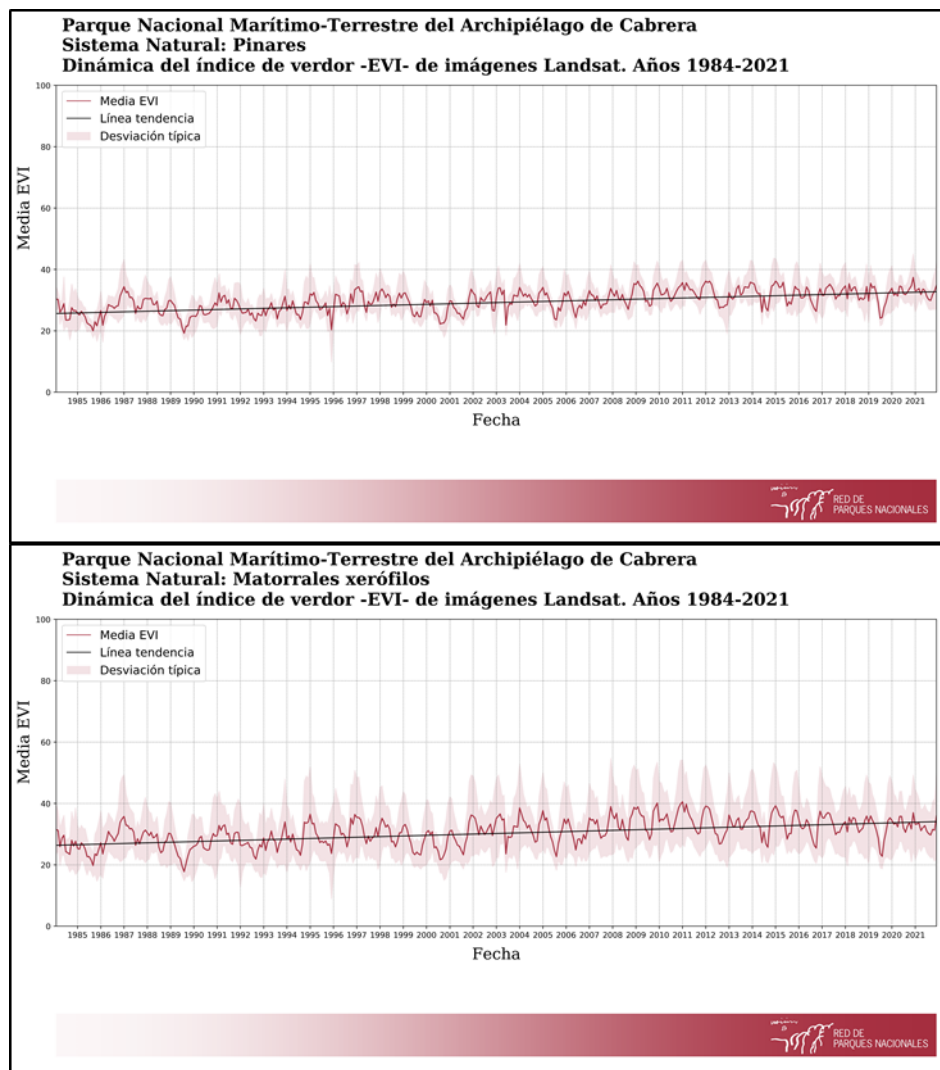
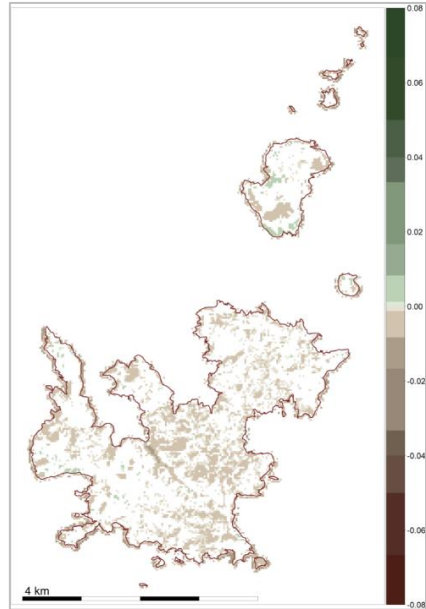
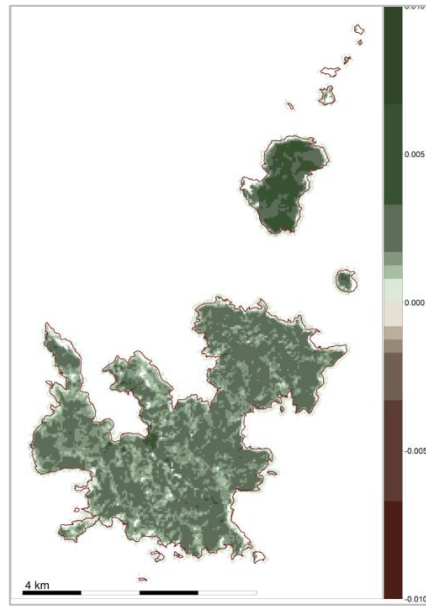


Figura 46. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 - 2021)

Tal y como se muestra en la Figura 47, y confirmando lo mostrado anteriormente, la tendencia en la productividad es positiva en todo el parque. Su tendencia es negativa en la estacionalidad, principalmente en los matorrales xerófilos en la zona central. Respecto a las tendencias en la fenología, son poco significativas.



Informe de resultados de estado, tendencias y anomalías de la productividad primaria en la Red de Parques Nacionales. - 2021



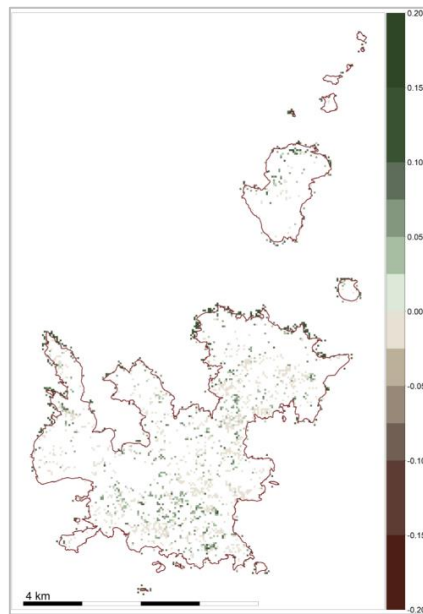


Figura 47. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 6).

Tabla 6. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|----------------------|--|----------------|----------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Matorrales | (+): 63,2 | (+): 1,3 | Retraso: 3,8 | Las poblaciones de sabinas muestran una elevada diversidad genética (nuclear y cloroplástica) que unida a la elevada dispersión de semillas por aves frugívoras (Santamaría et al., 2015) y a la desaparición de herbívoros exóticos, podría estar dando lugar al incremento en la biomasa de este sistema natural. |
| | (-): 1,6 | (-): 36,37 | Adelanto: 5,8 | |
| Matorrales xerófilos | (+): 95,8 | (+): 3,03 | Retraso: 4,6 | Incremento de la PPN debido al efecto positivo de <i>Medicago citrina</i> en el desarrollo de otras especies vegetales debido a la labor colonizadora de sus raíces como a la aportación de nitrógeno de sus nódulos. De esta manera, se favorece a las garrigas que sufrieron durante 2004-2006 el impacto de herbívoros exóticos (Santamaría et al., 2006) |
| | (-): 2,7 | (-): 30 | Adelanto: 7,6 | |
| Pinares | (+): 99,5 | (+): 0,7 | Retraso: 6,4 | Expansión de las poblaciones de <i>Pinus halepensis</i> , que ya cubrían buena parte del norte de la isla. Se halla unido a brezo y romero. |
| | (-): 0,3 | (-): 33,64 | Adelanto: 10,3 | |

Las anomalías en la productividad primaria –EVI- en el año 2021 respecto a la media del periodo seleccionado (1984 – 2021), es superior a lo largo del año, a excepción de los matorrales xerófilos de la isla Conejera en los meses de invierno (Figura 48), donde es inferior a la media de la serie histórica.

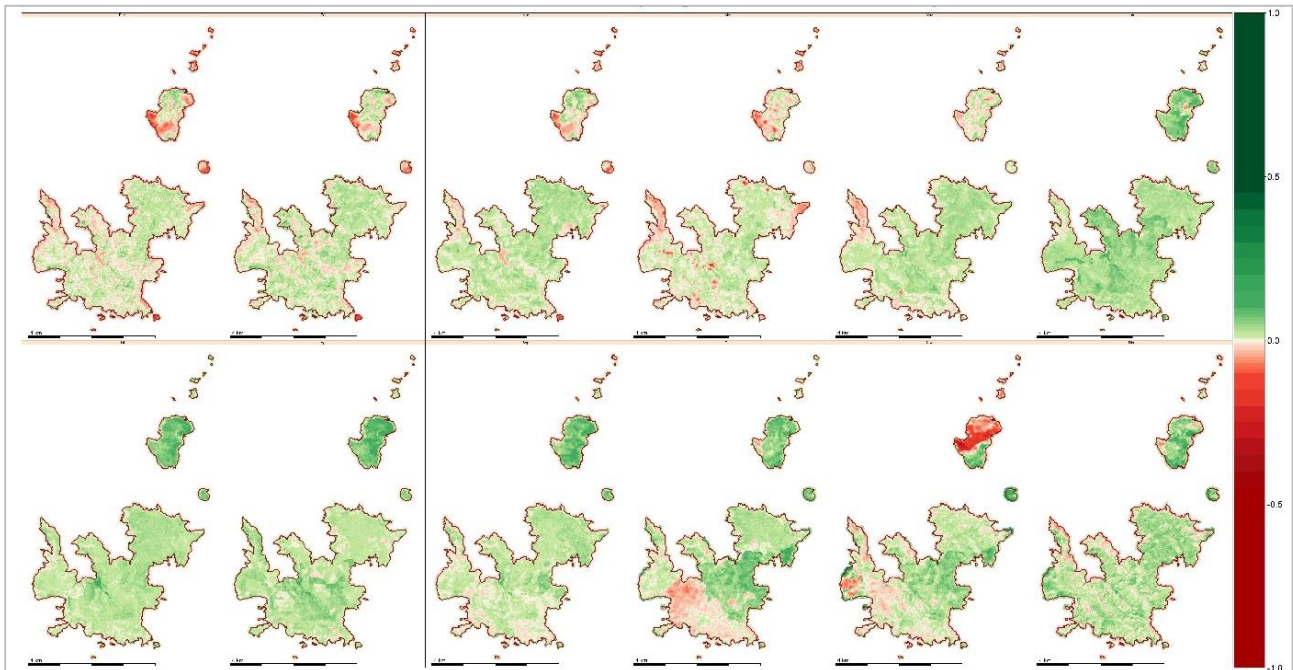


Figura 48. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

El parque muestra un incremento en la productividad primaria (Figura 49), excepto en los matorrales xerófilos situados en el suroeste de la isla Conejera y en la isla de Cabrera, donde decae.

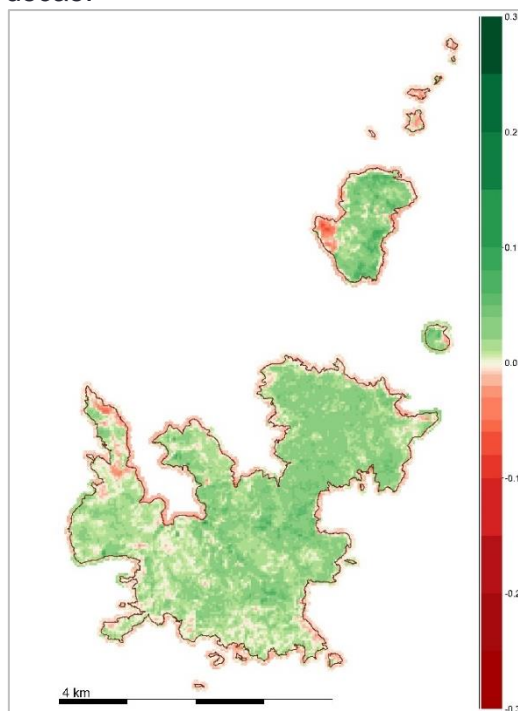


Figura 49. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

La productividad en el año 2021 en el parque se sitúa por encima de la productividad media del periodo 1984 – 2021, aunque dentro de su rango de variación histórico (Figura 50).

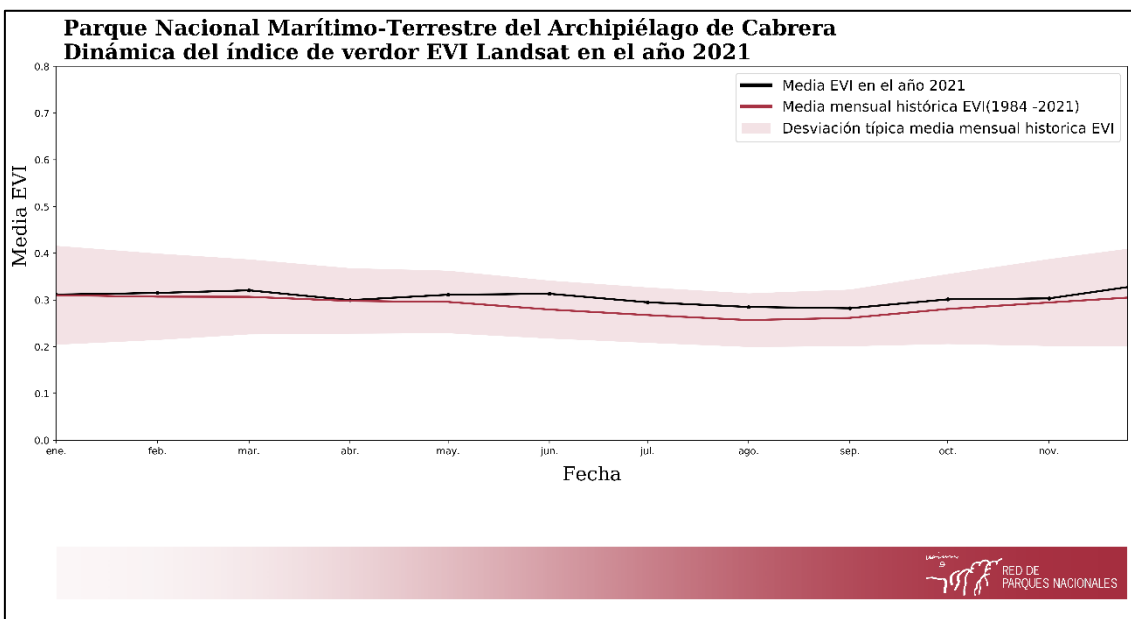


Figura 50. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

En los meses de invierno, los principales sistemas naturales vegetales (Figura 51) presentan una productividad similar a la productividad media de la serie histórica en estos meses, aumentando la diferencia entre ambos en los meses de primavera y verano.

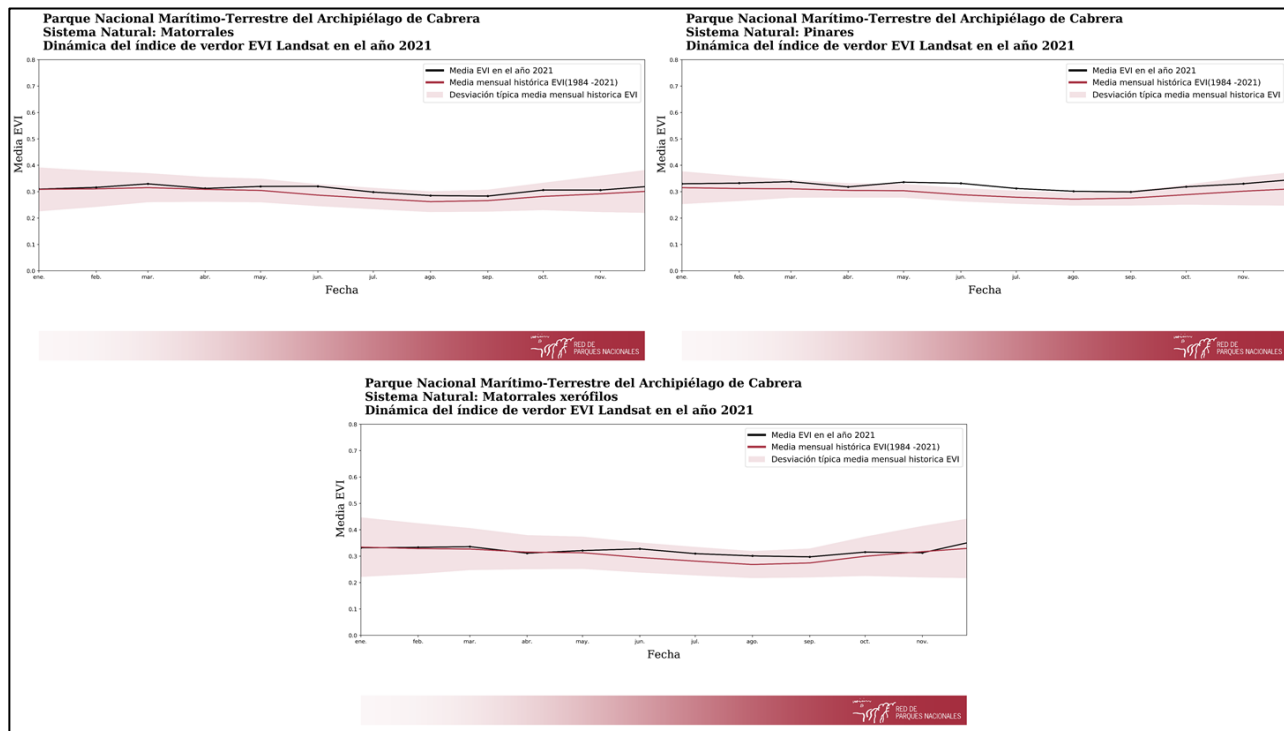


Figura 51. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales que conforman al parque.

4.3.1. Desarrollo del sistema REMOTE en el ámbito marino

A continuación, se muestra la superficie marítima protegida en este Parque Nacional (Figura 52)

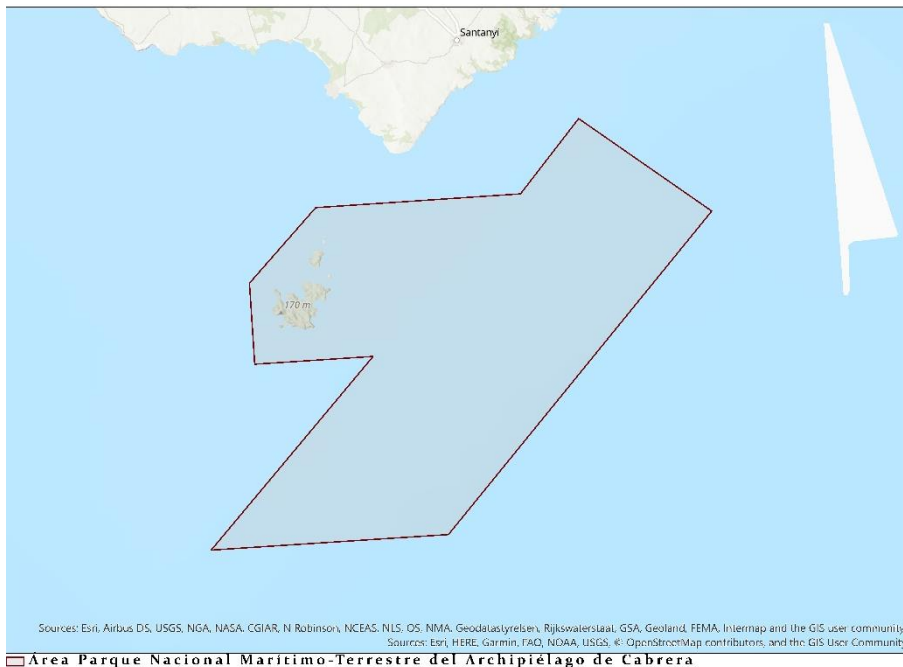


Figura 52. Área del Parque Nacional Marítimo-Terrestre.

4.3.1.1. Temperatura superficial del mar

En la siguiente figura se muestra la temperatura superficial del mar en la superficie correspondiente al parque (Figura 53). En ella se puede observar la tendencia ligeramente ascendente de esta variable a lo largo del tiempo. La temperatura superficial del mar en el área del parque nacional se sitúa en torno a los 18,4°, alcanzando una temperatura máxima media de 28,8° en la época estival, y una temperatura mínima media en invierno en torno a los 12,4°.

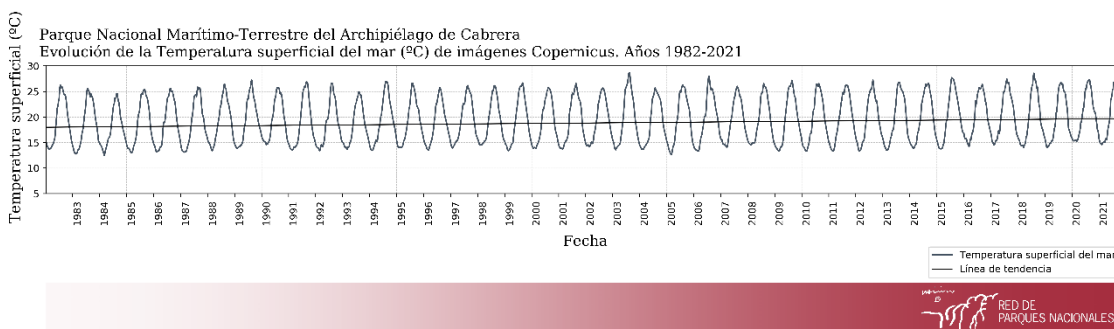


Figura 53. Evolución de la temperatura superficial del mar en el Parque Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera.

4.3.1.2. Clorofila

En la Figura 54 se muestra la evolución de la concentración de clorofila-a en el parque. Las concentraciones de clorofila muestran valores relativamente bajos, siendo mayores durante la época de invierno que en verano.

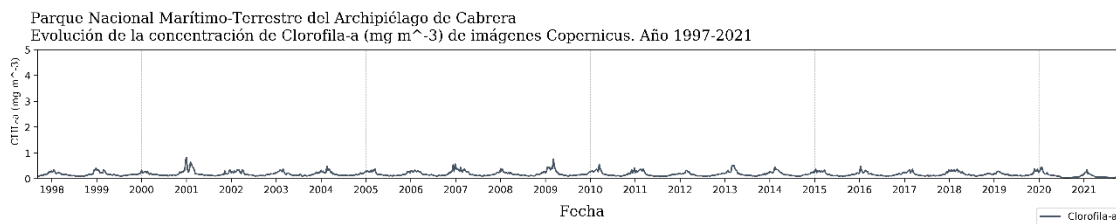


Figura 54. Evolución de la clorofila-a en el Parque Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera.



4.4. PARQUE NACIONAL DE LA CALDERA DE TABURIENTE

En este parque, los ecosistemas de pinar son los más productivos, destacando aquellos situados al noroeste y sur del parque. Los matorrales y las zonas de escasa vegetación, formada por vegetación rupícola, situados en cotas elevadas, presentan los valores de productividad más bajos (Figura 55).

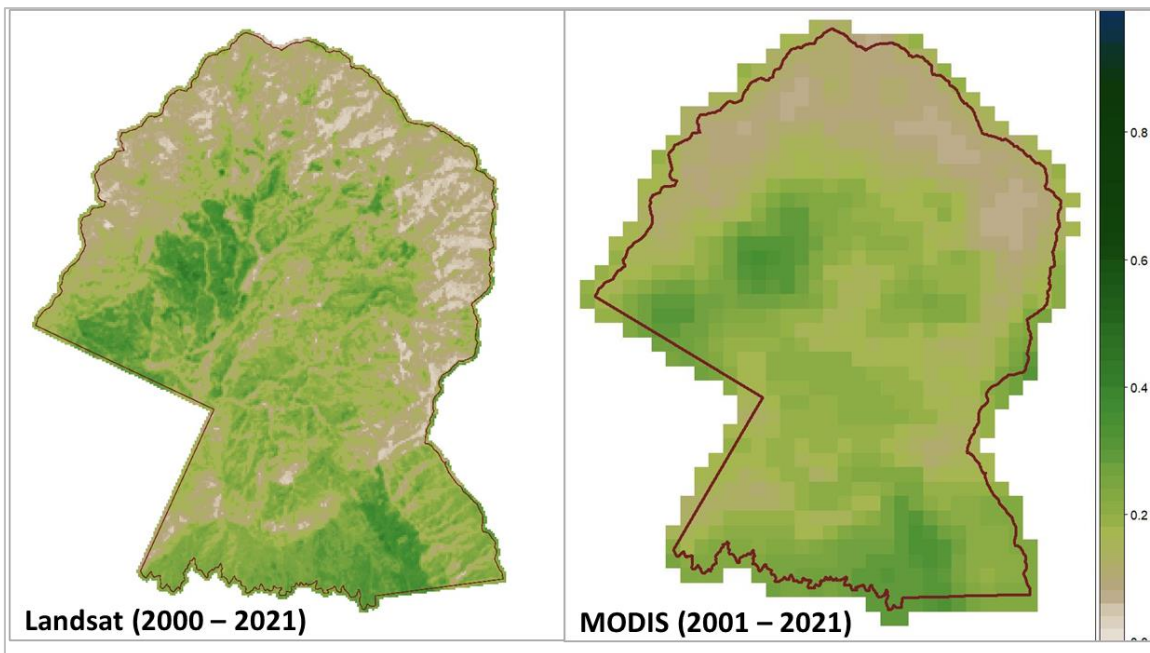


Figura 55. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 2000 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

La dinámica anual del verdor, tal y como se muestra en la Figura 56, no presenta estacionalidad debido a la niebla y la existencia de fuentes y acuíferos, los cuales tienden a paliar el incremento de temperaturas que se dan en la época estival.

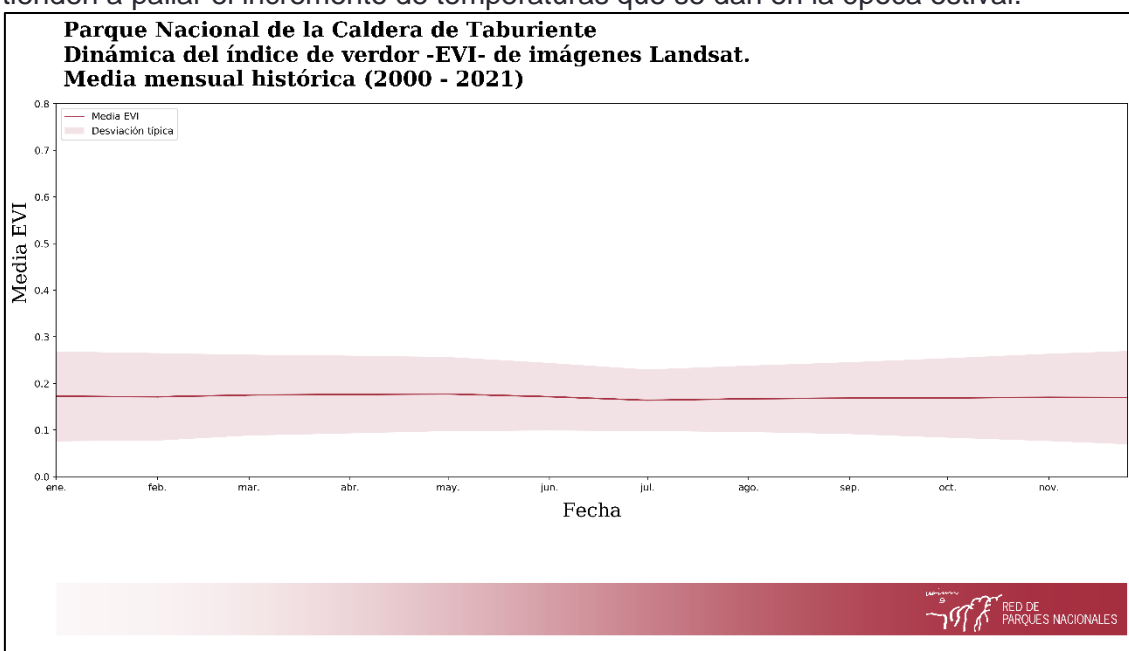


Figura 56. Media mensual histórica del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (2000 - 2021).



En cuanto a la evolución de la productividad de los principales sistemas naturales vegetales que conforman la isla, en todos los casos se aprecia una tendencia levemente descendente (Figura 57).

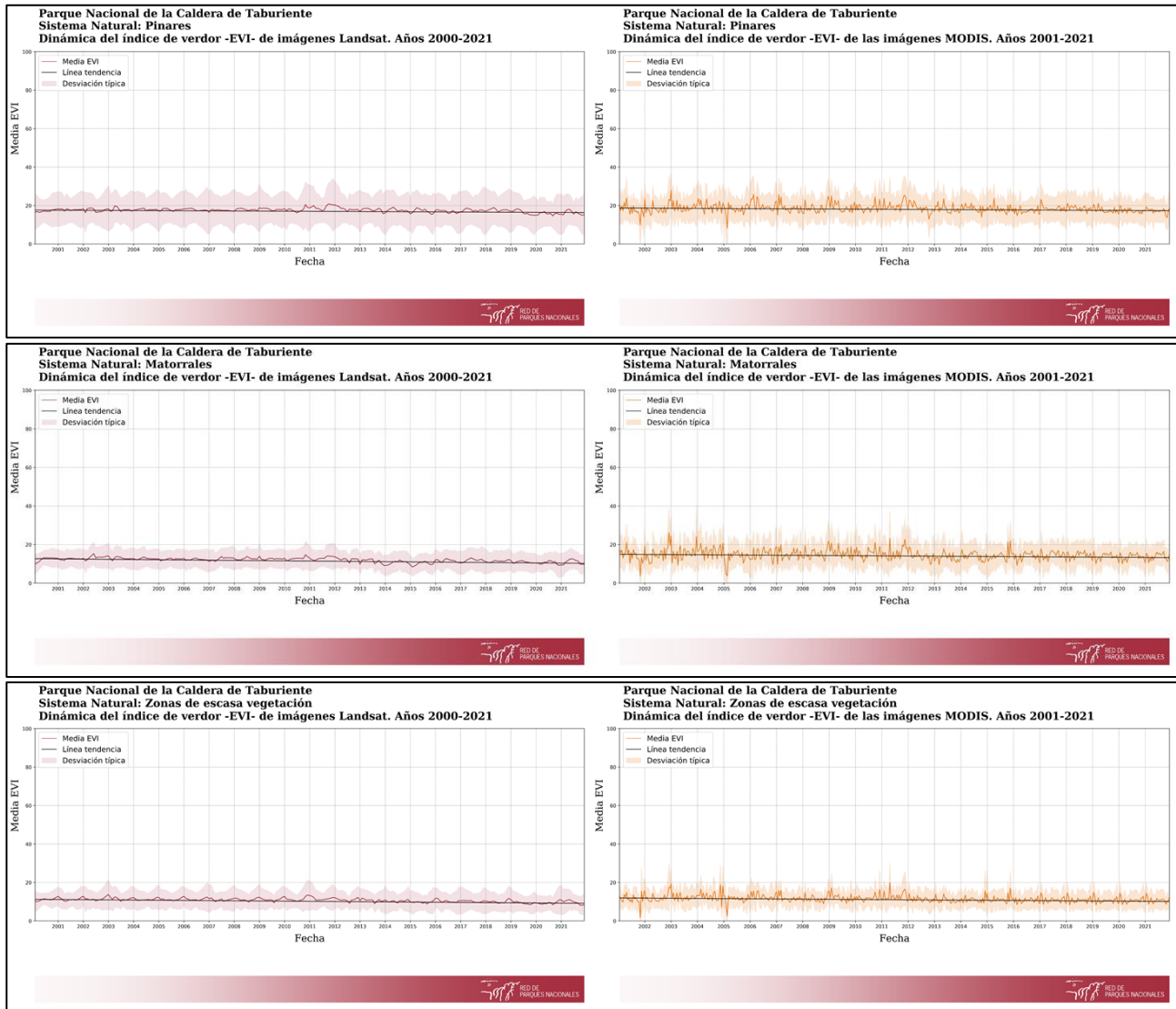


Figura 57. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 2000 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

La tendencia en la productividad primaria es negativa en las zonas de vegetación rupícolas y matorrales, localizados en las cotas altas. La estacionalidad muestra un incremento en toda la extensión del parque y la fenología muestra, generalmente, tendencias poco significativas (Figura 58).

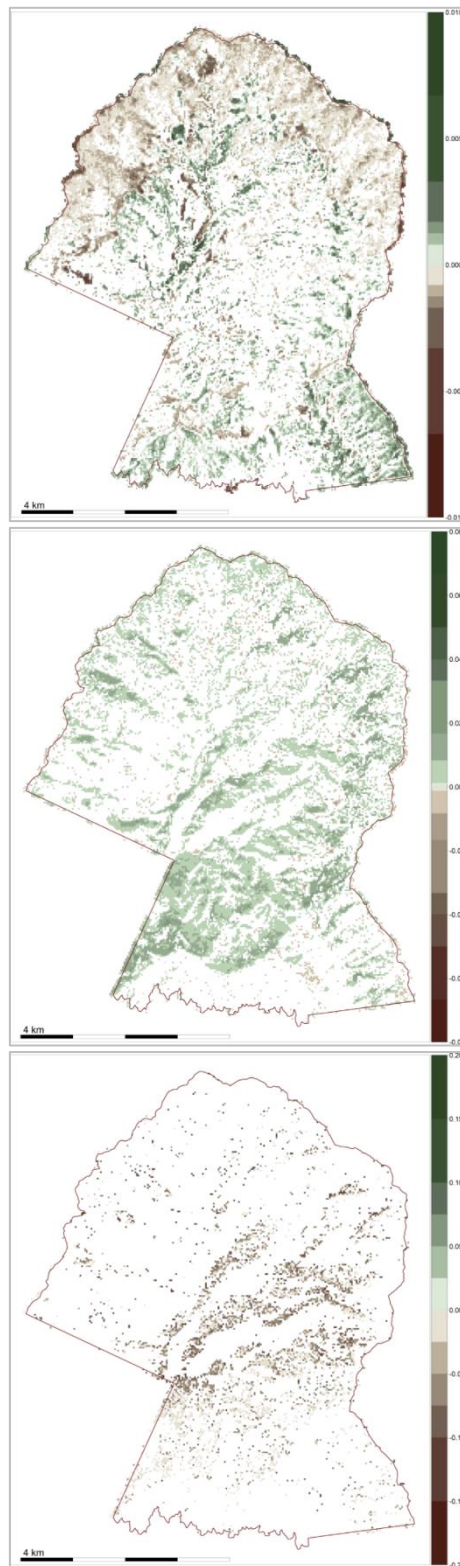


Figura 58. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 7).

Tabla 7. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|-----------------------------|--|----------------|---------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Matorrales | (+): 35,46 | (+): 31,8 | Retraso: 0,76 | <i>Spartocytisus supranubius</i> ha sido relegada a posiciones rupícolas por presión de herbivoría. Eliminación de matorral para la prevención de incendios. |
| | (-): 1,2 | (-): 61,31 | Adelanto: 1,7 | |
| Pinares | (+): 30,50 | (+): 1,2 | Retraso: 4,2 | Erosión por escorrentía Presión de herbívoros exóticos sobre leguminosas del pinar La presencia de la invasora <i>Argemone adenophora</i> dificulta el emplazamiento de comunidades autóctonas en fondos de barranco y manantiales. |
| | (-): 2,22 | (-): 0,04 | Adelanto: 1,3 | |
| Zonas escasas de vegetación | (+): 0,4 | (+): 0,2 | Retraso: 1,9 | Erosión por escorrentía. |
| | (-): 0,8 | (-): 2,7 | Adelanto: 1,2 | |

En cuanto a las anomalías de la productividad primaria en el año 2021 respecto al periodo histórico (1984 – 2021), muestra que son negativas a lo largo del año en las zonas de pinar, siendo más acuciadas en los meses de otoño e invierno y suaves a lo largo de la primavera y verano (Figura 59).

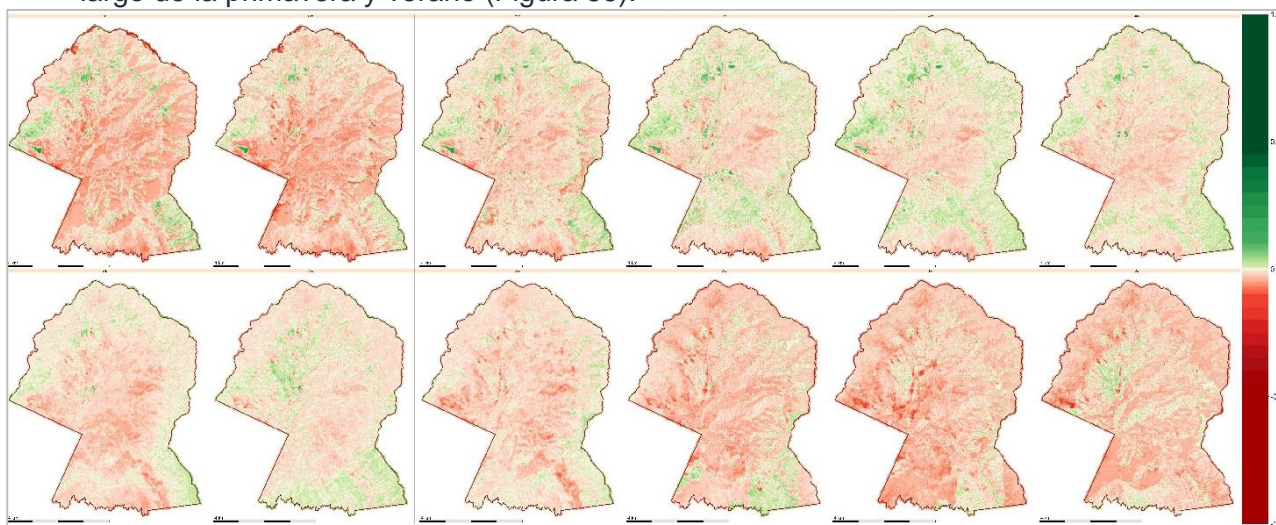


Figura 59. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (2000 - 2021).

En el caso de la productividad media del año 2021, el parque ha sido menos productivo, exceptuando los pinares situados al sureste de la isla (Figura 60, Figura 61).

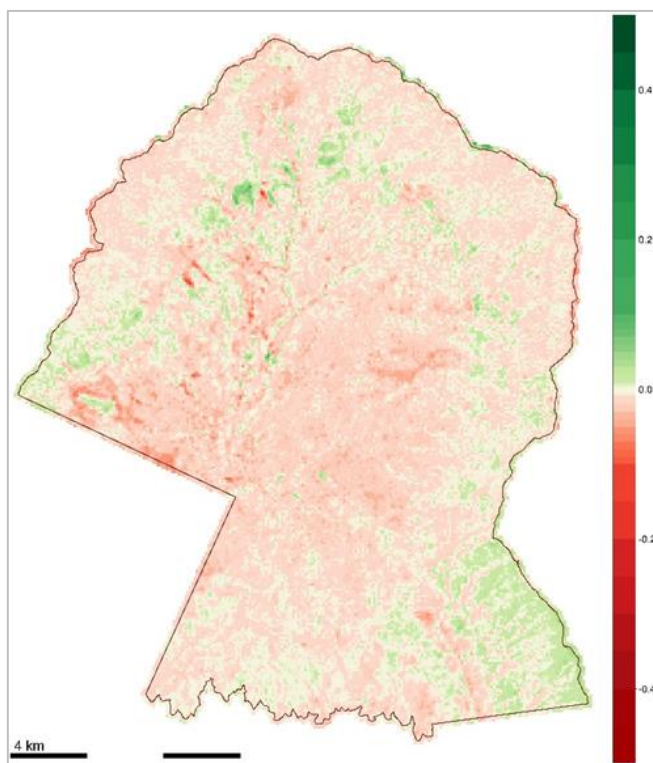


Figura 60. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (2000-2021)

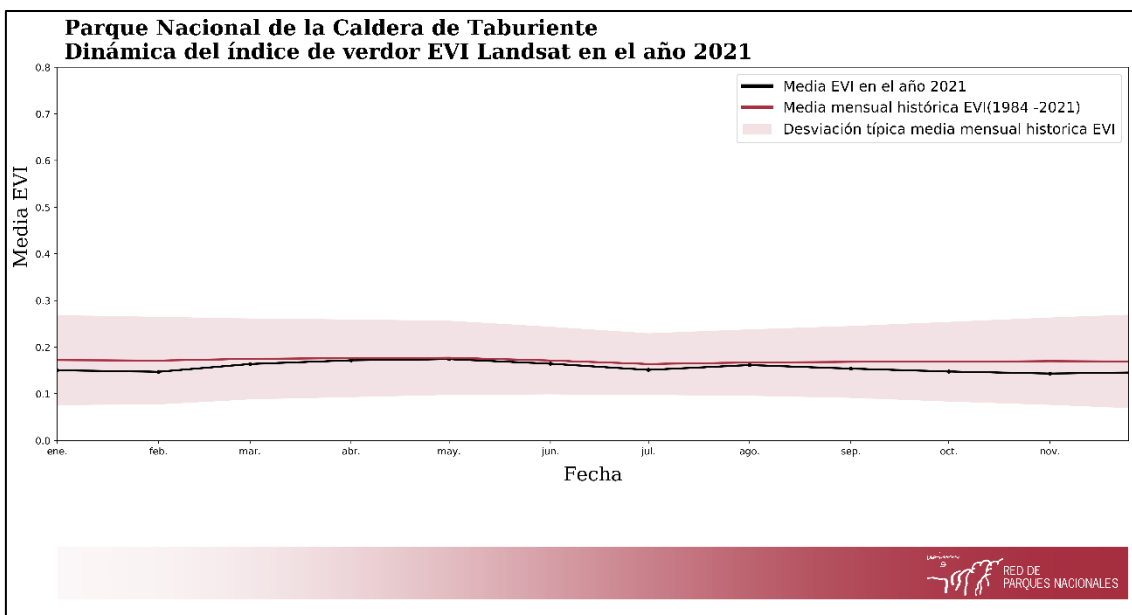


Figura 61. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en el parque.

Los principales sistemas naturales vegetales muestran valores de productividad inferiores a la media de la serie histórica en los meses de invierno y otoño, y se acerca a la media histórica en la primavera (Figura 62).

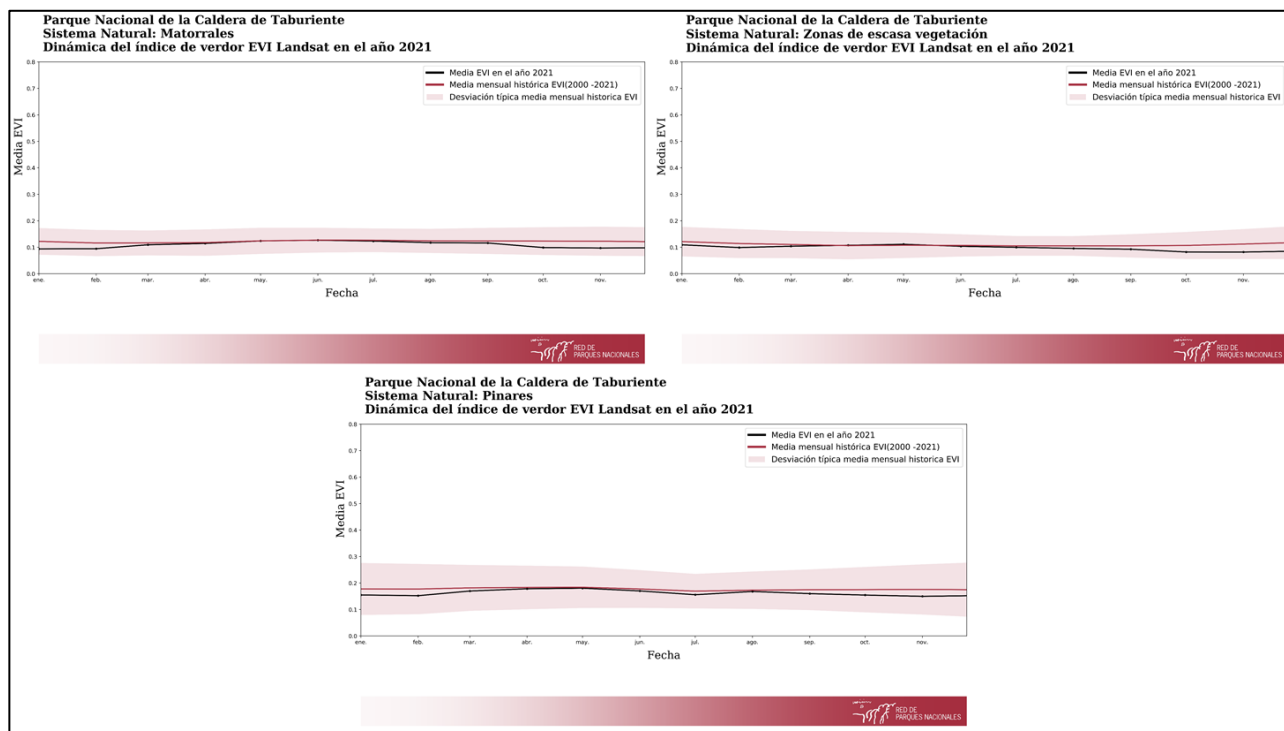


Figura 62. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.



4.5. PARQUE NACIONAL DE DOÑANA

Al norte del parque y en el pinar del sur existe una alta productividad, mientras que en las marismas y las dunas y corrales presentan valores bajos de verdor (Figura 63)

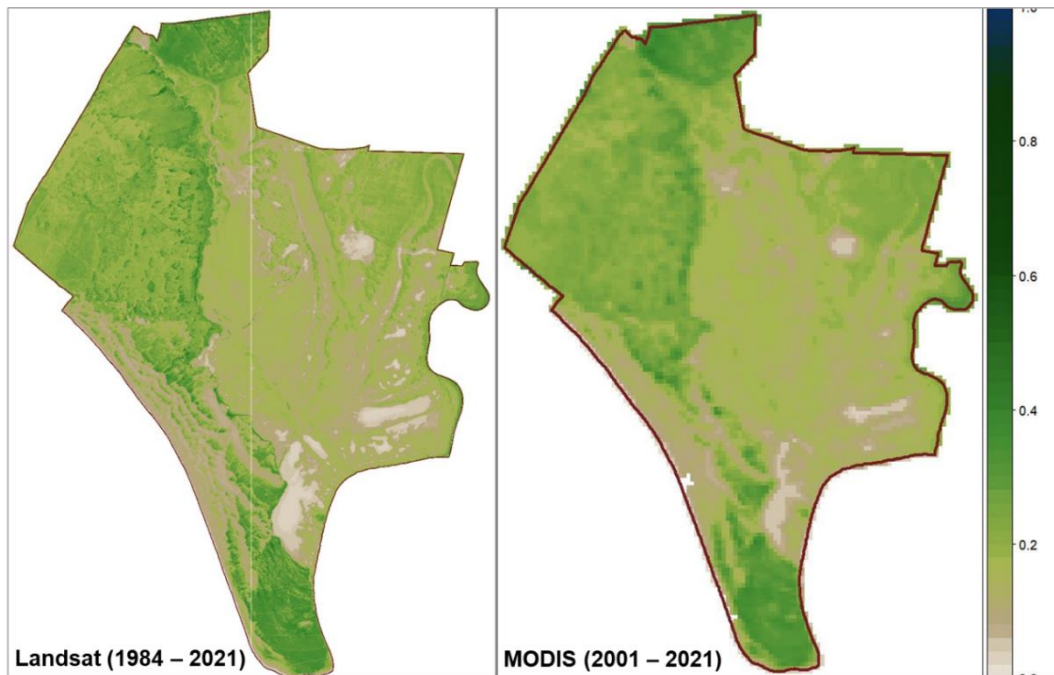


Figura 63. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

La dinámica estacional del verdor de la vegetación es bastante homogénea a lo largo del año. Se detecta que la actividad se incrementa levemente en la primavera, para descender en verano y otoño (Figura 64).

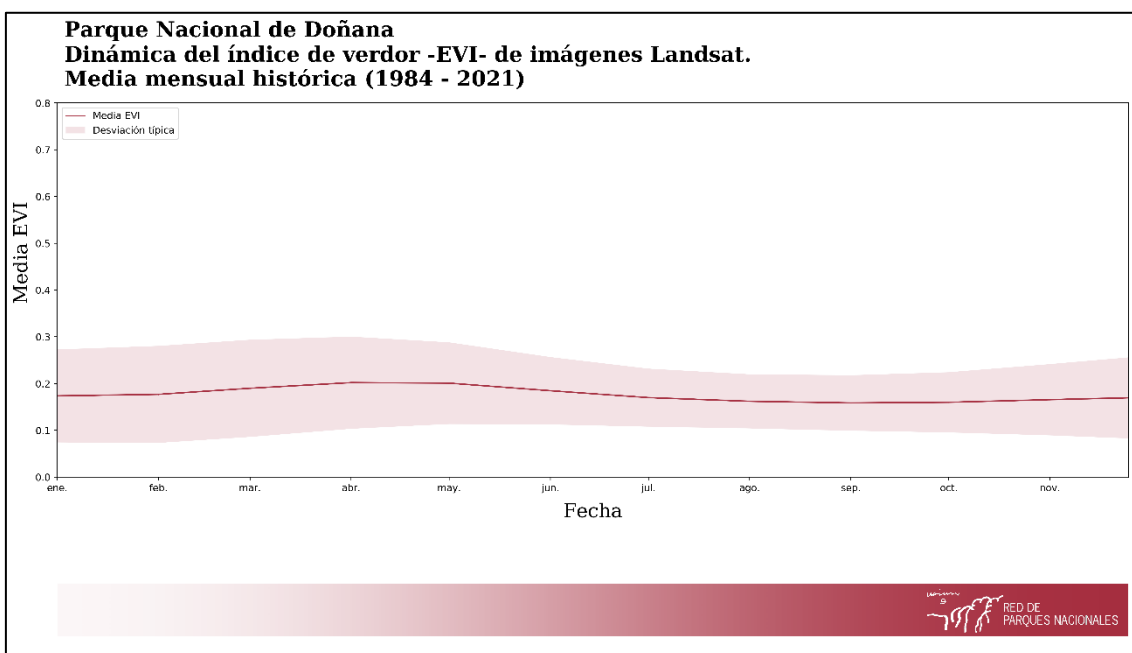
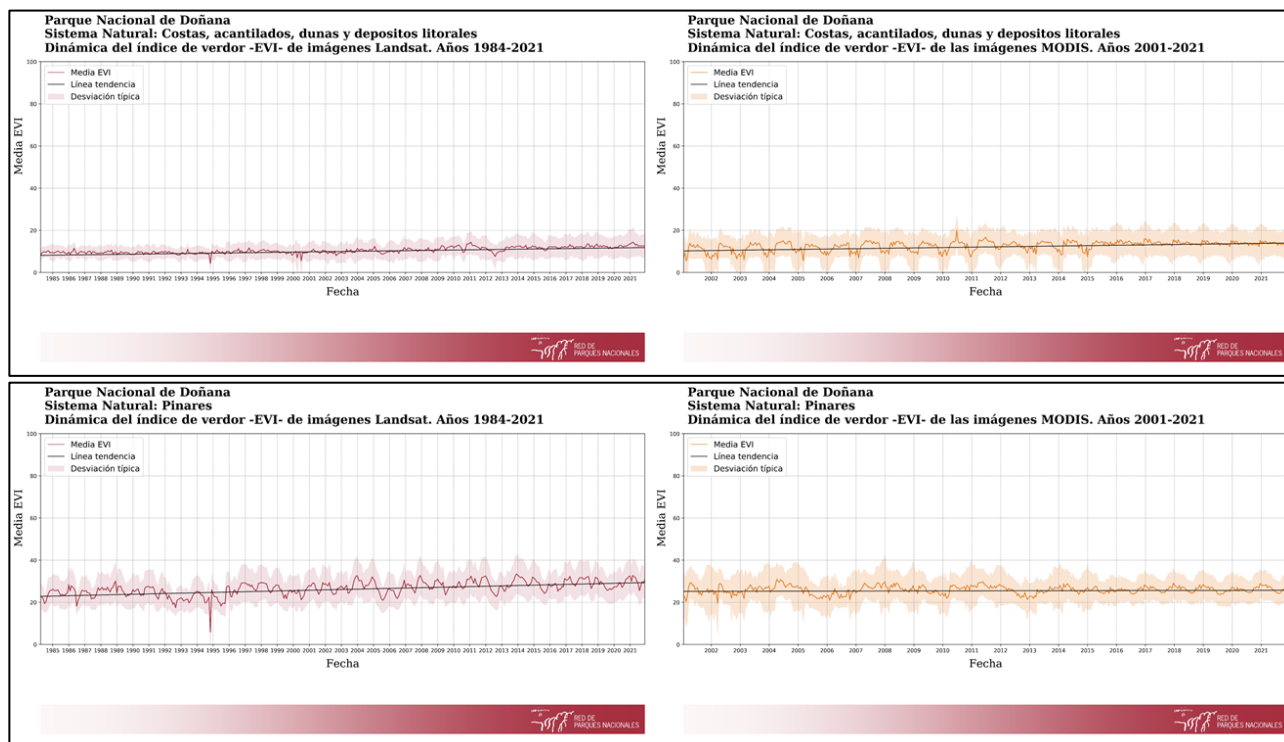


Figura 64. Media mensual histórica del Parque Nacional de Doñana (1984 - 2021).

En cuanto a la evolución de la productividad de los sistemas naturales vegetales principales que conforman el parque, se aprecia como los pinares y los ecosistemas de lagunas de agua dulce incrementan su productividad, mientras que los matorrales y los ecosistemas de costas, acantilados, dunas y depósitos litorales se mantienen estables (Figura 65).



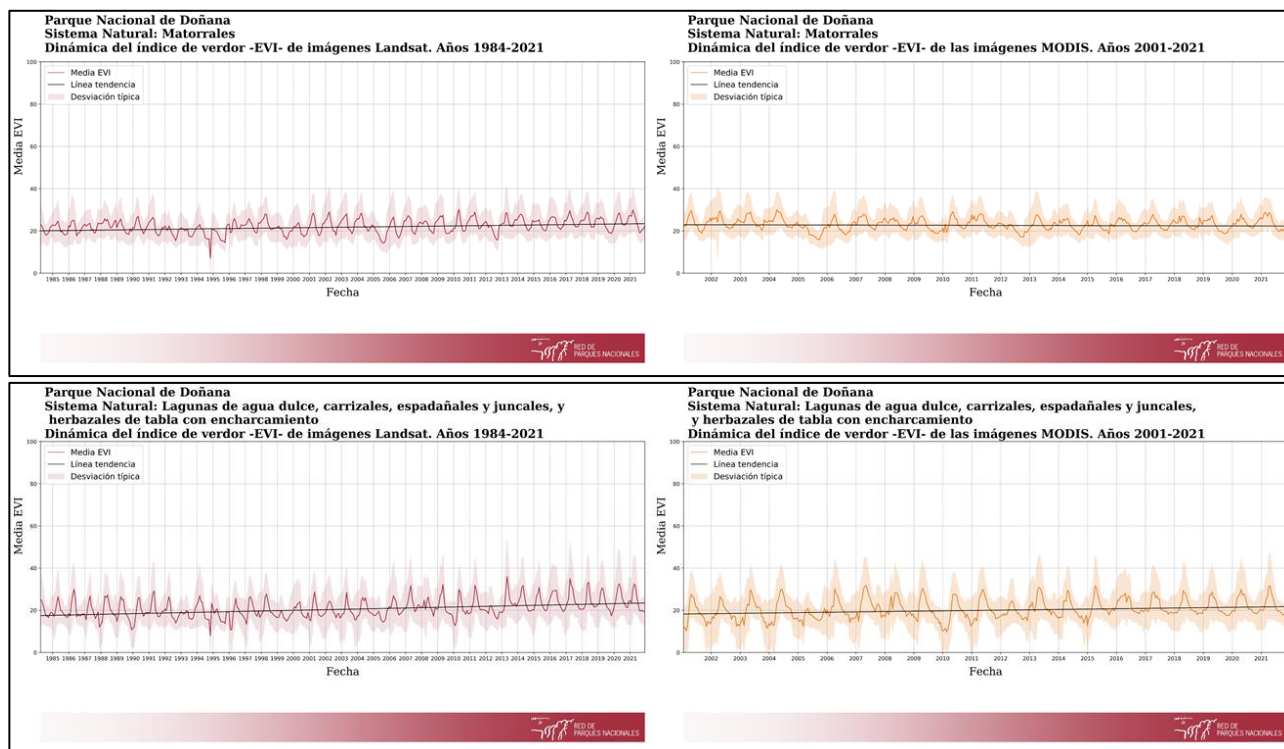


Figura 65. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

En las zonas habitualmente inundadas de marisma y las dunas móviles, la tendencia aumenta en cuanto a la productividad y se reduce con respecto a la estacionalidad. Respecto a la tendencia en la fenología, se muestra poco significativa (Figura 66).



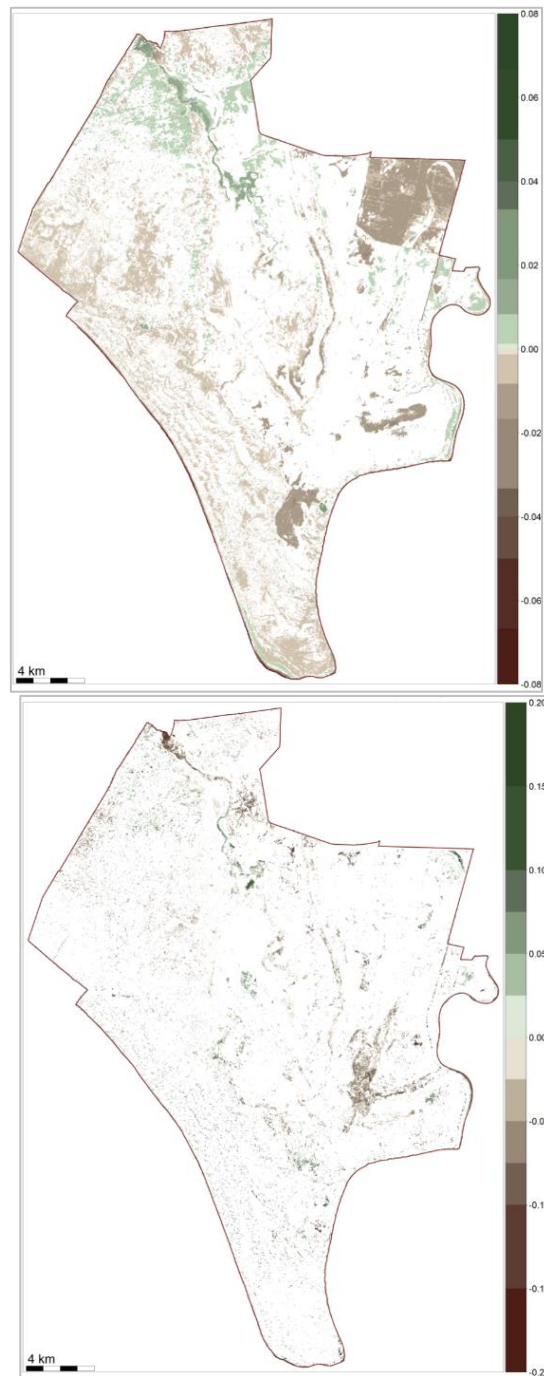


Figura 66. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 8).

Tabla 8. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Doñana.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---|--|----------------|----------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Costas, acantilados, dunas y depósitos litorales | (+): 75,0 | (+): 4,2 | Retraso: 3,0 | Aumento de la cobertura vegetal en las áreas de dunas interiores. |
| | (-): 4,3 | (-): 25,42 | Adelanto: 2,4 | |
| Lagunas de agua dulce, carrizales, espadañales y juncales, y herbazales de tabla con encharcamiento | (+): 75,45 | (+): 12,87 | Retraso: 2,7 | El aumento de temperaturas, la escasez de precipitaciones, y la sobreexplotación del acuífero ha reducido en un 90% las descargas de agua subterránea a las marismas. Estos cambios hidrológicos pueden estar provocando el crecimiento de la vegetación herbácea y pinares en lagunas desecadas. |
| | (-): 4,1 | (-): 27,71 | Adelanto: 8,1 | |
| Matorrales | (+): 72,83 | (+): 8,6 | Retraso: 1,75 | Expansión del matorral y reducción de cobertura de herbáceas por diversas acciones de gestión. Presión de herbivoría sobre pastizales por ungulados y otros herbívoros. |
| | (-): 8,25 | (-): 28,45 | Adelanto: 5,2 | |
| Pinares | (+): 86,3 | (+): 1,0 | Retraso: 1,0 | Aumento de la cobertura del pinar. |
| | (-): 1,6 | (-): 40,96 | Adelanto: 1,27 | |

En cuanto al gráfico espacio-temporal de anomalías en el año 2021 respecto a la media de la serie histórica (Figura 67), el parque muestra una productividad mayor en zonas inundables, exceptuando en las lagunas situadas al sur y sureste del mismo.

El sistema natural vegetal matorral situado al noreste del parque es más productivo en invierno y otoño, mientras que en primavera y verano se encuentra por debajo de la media.

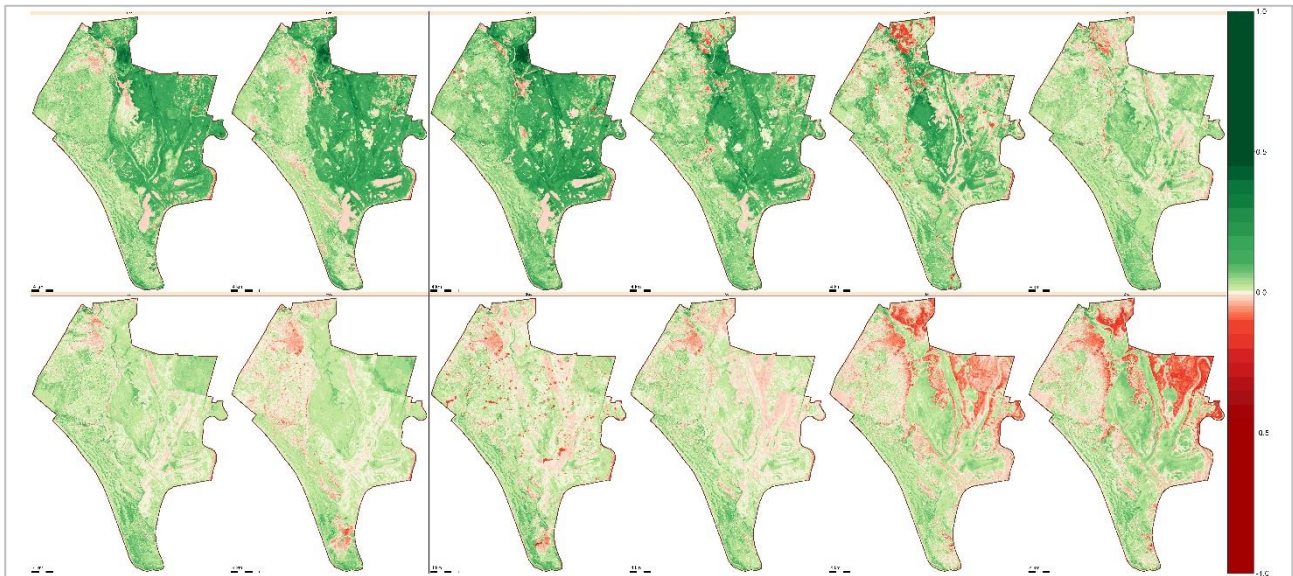


Figura 67. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

La anomalía en el verdor en el año 2021 respecto a la media histórica muestra que el matorral posee valores inferiores a la media (Figura 68). El resto del parque muestra una productividad superior a la de la media histórica.

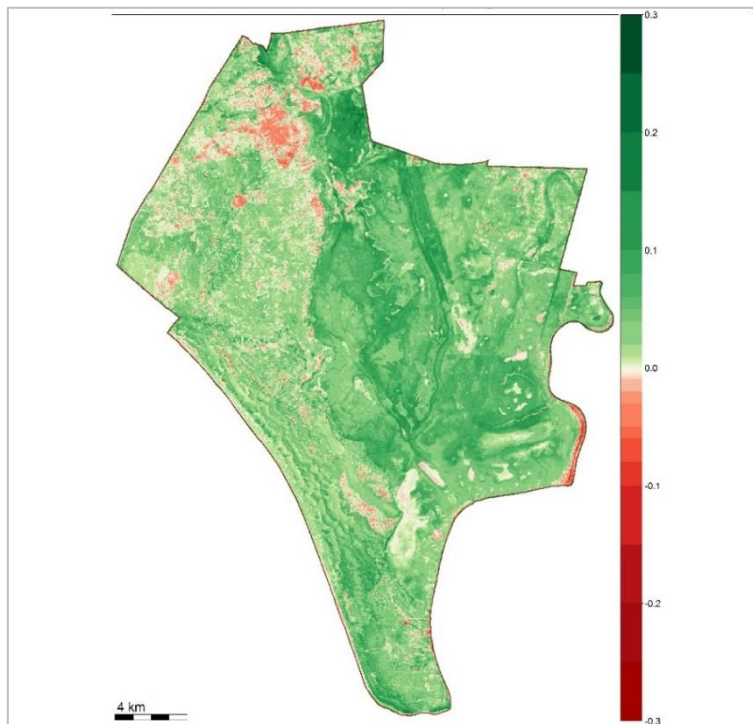


Figura 68. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

En los meses de invierno y primavera del año 2021 (Figura 69), la productividad del parque es superior a la media de la serie histórica, mientras que, a partir de mayo, se aproxima gradualmente a la media histórica.

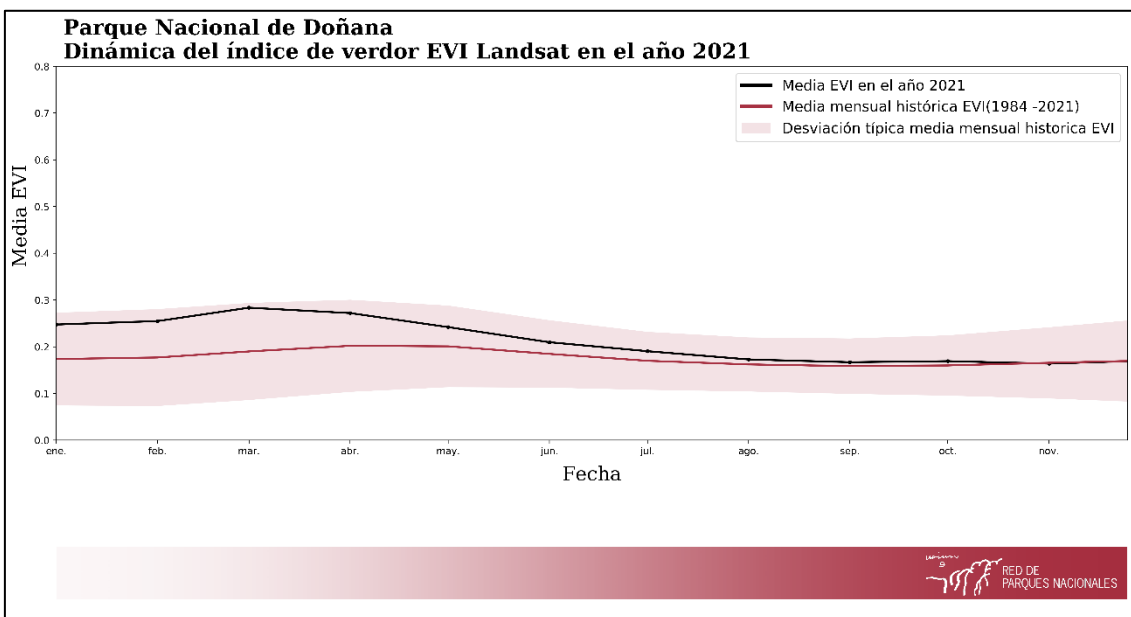


Figura 69. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

El sistema natural vegetal de costas y pinares muestran un incremento de la productividad en el año 2021 con valores por encima de la media, mientras que las lagunas y matorrales incrementan la productividad en los meses de invierno y primavera, estabilizándose los valores en los meses de verano y otoño (Figura 70).

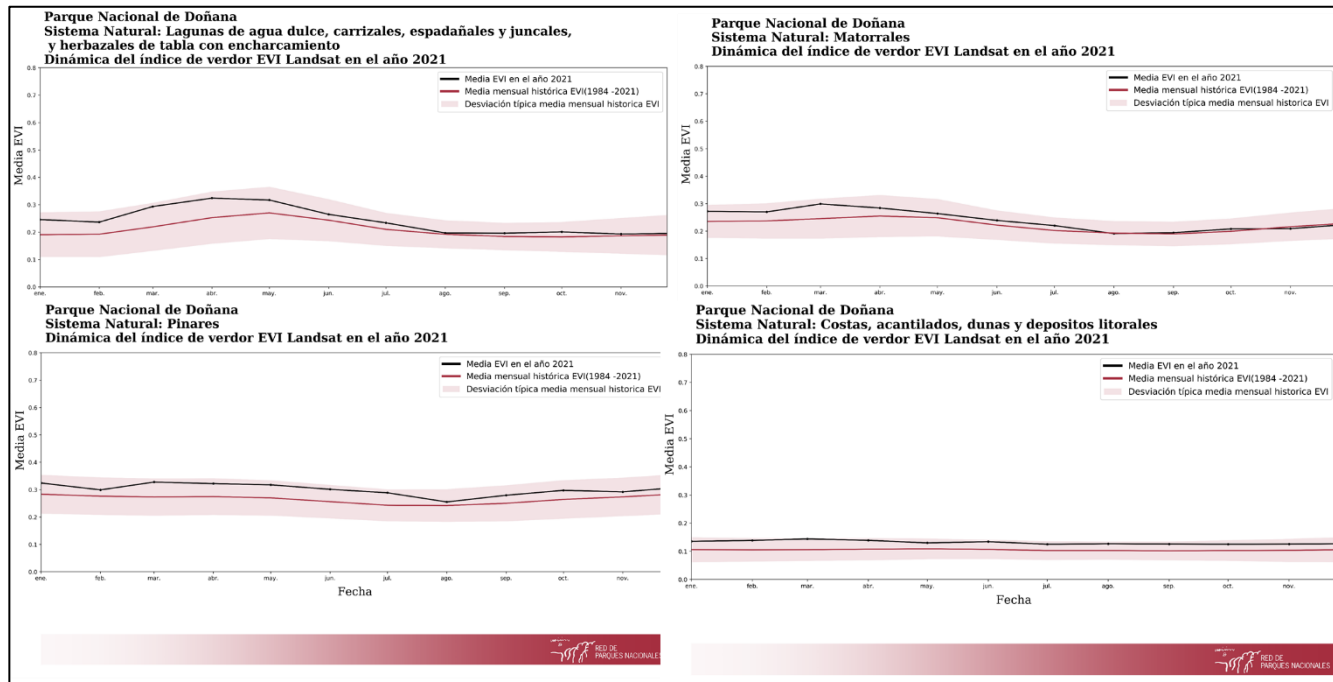


Figura 70. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.6. PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY

Este parque presenta valores altos de productividad, principalmente en las zonas formadas por ecosistemas de laurisilva, mientras que las regiones formadas por fayal-brezal, al suroeste, muestra valores inferiores (Figura 71).

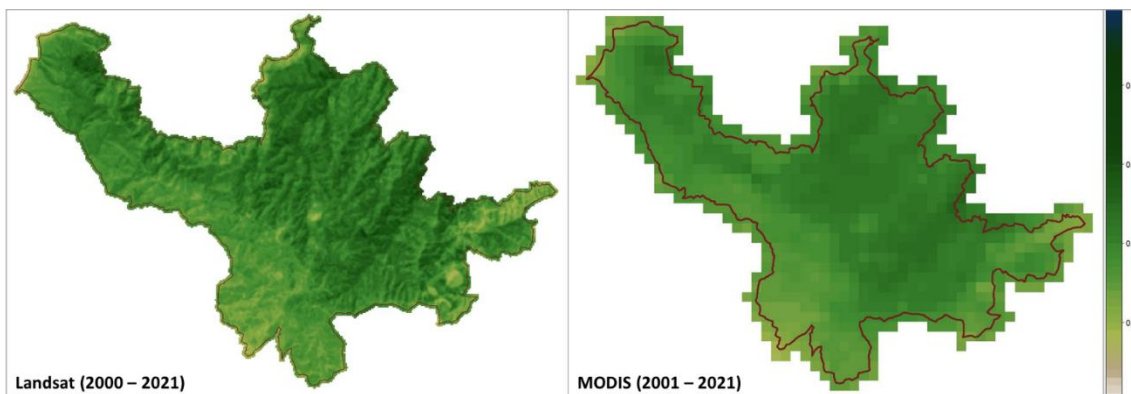


Figura 71. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 2000 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

La productividad del parque es bastante homogénea a lo largo del año, experimentando un incremento en primavera y un descenso en otoño (Figura 72).

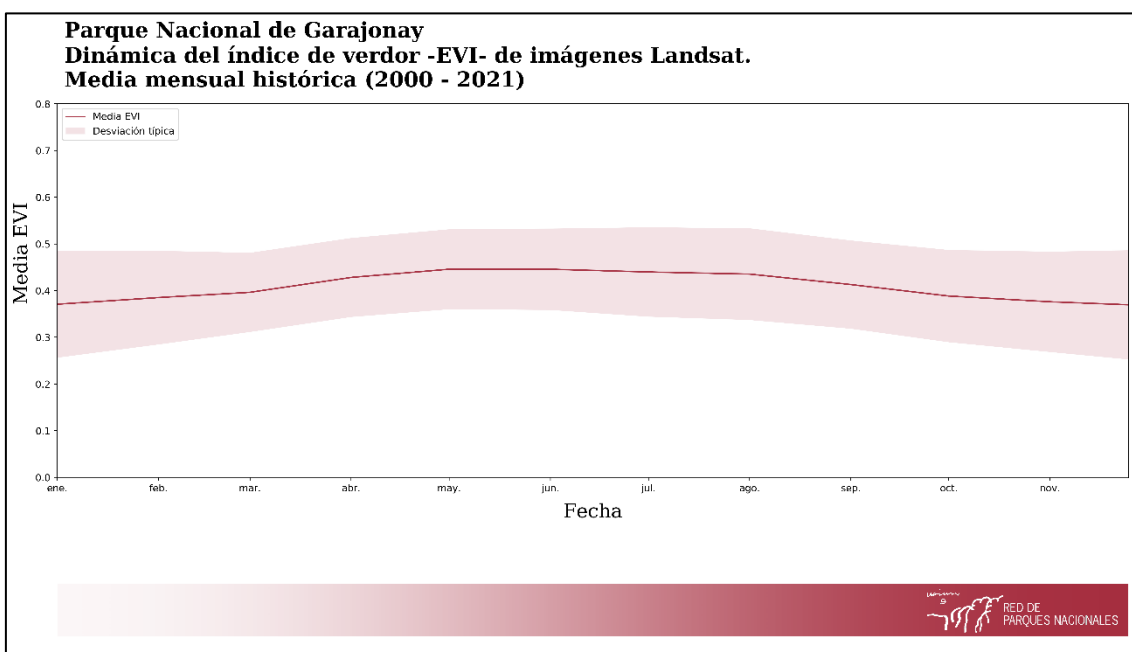


Figura 72. Media mensual histórica del Parque Nacional de Garajonay (2000 - 2021).

En cuanto a la evolución de la productividad desde 1984 hasta 2021 en los principales sistemas naturales vegetales, el fayal-brezal presenta una tendencia decreciente, probablemente ocasionado por el incendio que tuvo lugar en el año 2012, donde afectó aproximadamente 700 hectáreas de este ecosistema. En cuanto al bosque de laurisilva, presenta una tendencia ligeramente creciente (Figura 73).

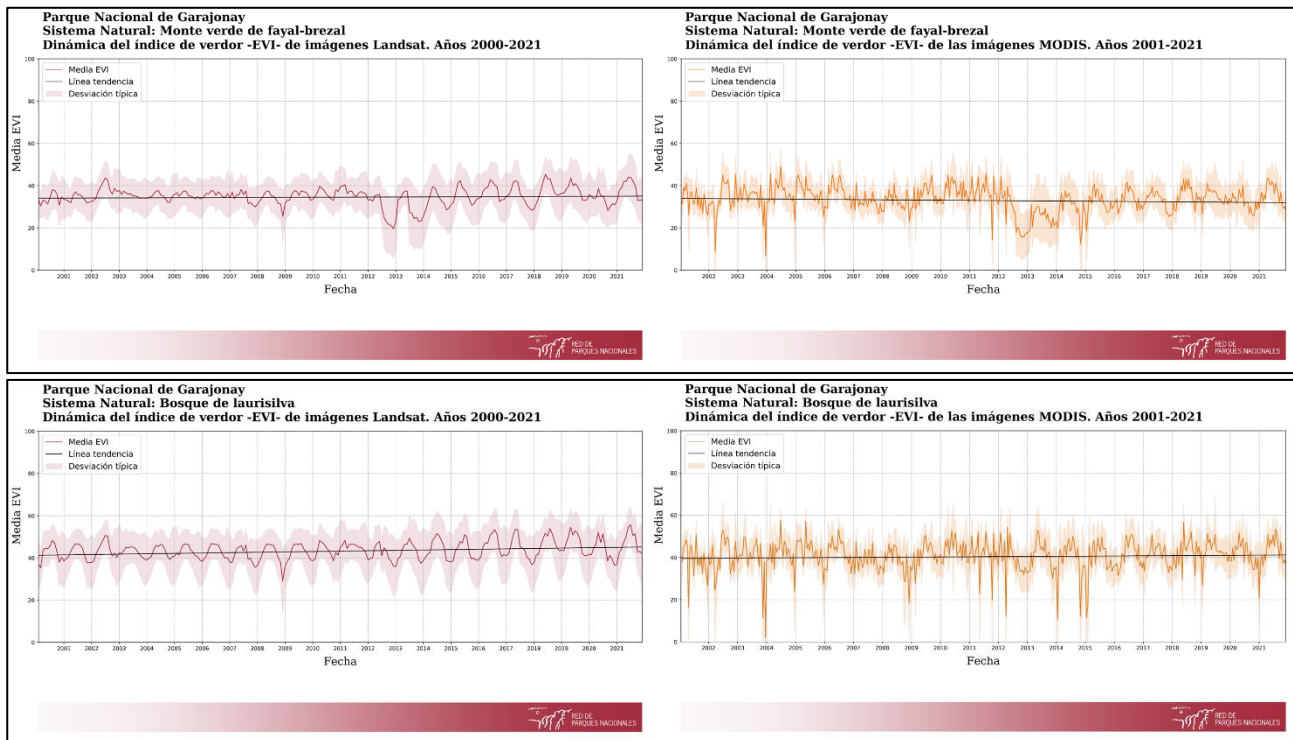
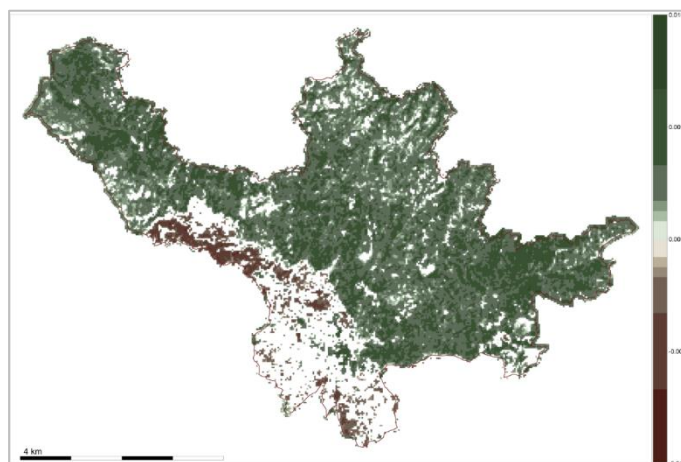


Figura 73. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 2000 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

La productividad en la zona afectada por el incendio de 2012, formado principalmente por fayal-brezal, matorrales y Monteverde húmedo, al suroeste del parque, presenta una tendencia poco significativa o negativa, mientras que en los ecosistemas de laurisilva en la zona centro y norte, la tendencia es positiva.

La tendencia en la estacionalidad presenta valores positivos, principalmente en la zona afectada por el incendio.

La tendencia de la fenología en el parque es poco significativa. Sin embargo, la superficie afectada por el incendio muestra un adelanto en la fecha correspondiente al máximo de la productividad (Figura 74).



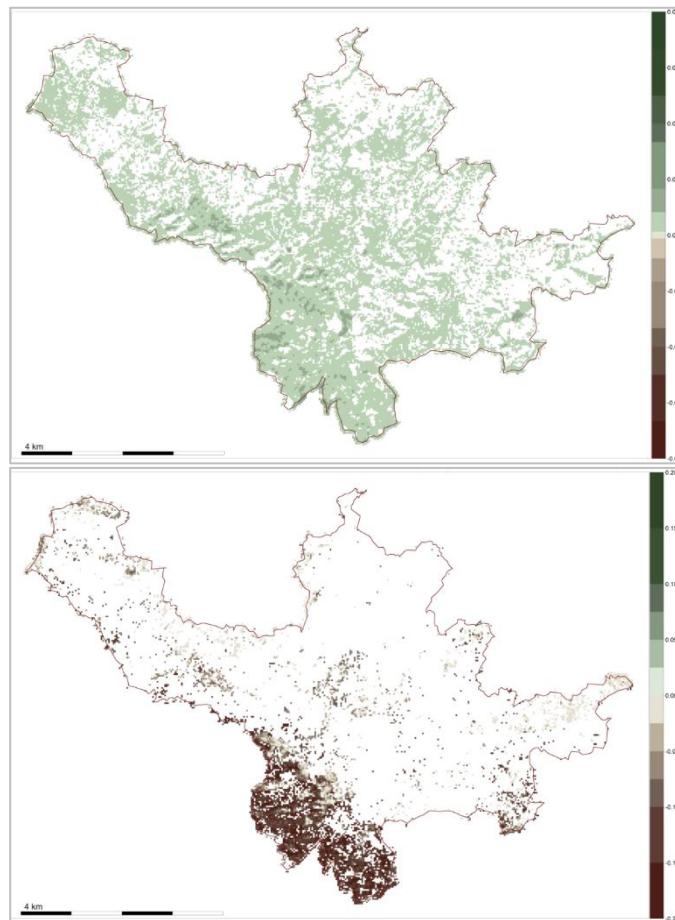


Figura 74. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología) entre 2000 y 2021. El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 9).

Tabla 9. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Garajonay

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|-----------------------------|--|----------------|-----------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Bosque de laurisilva | (+): 86,3 | (+): 47,25 | Retraso: 0,04 | Recuperación de la cubierta vegetal tras el incendio de 2012. Las labores de gestión para la eliminación de la invasora <i>Tradescantia fluminensis</i> no parecen afectar a la productividad primaria. |
| | (-): 3,38 | (-): 0,45 | Adelanto: 7,6 | |
| Monte verde de fayal-brezal | (+): 40,57 | (+): 67,83 | Retraso: 0,01 | Recuperación de la cubierta vegetal tras el incendio de 2012. |
| | (-): 10,75 | (-): 0,3 | Adelanto: 38,37 | |

En cuanto a las anomalías observadas en el año 2021 respecto a la media del periodo histórico, el sistema natural vegetal de laurisilva fue menos productivo en enero y mayo, principalmente en la zona central del parque. El resto de los meses, la producción primaria se sitúa por encima de la media histórica (Figura 75).

El fayal-brezal, situado al suroeste del parque, muestra mayor productividad en los meses de invierno, primavera y verano. Sin embargo, en el otoño decae la productividad por debajo de la media histórica.

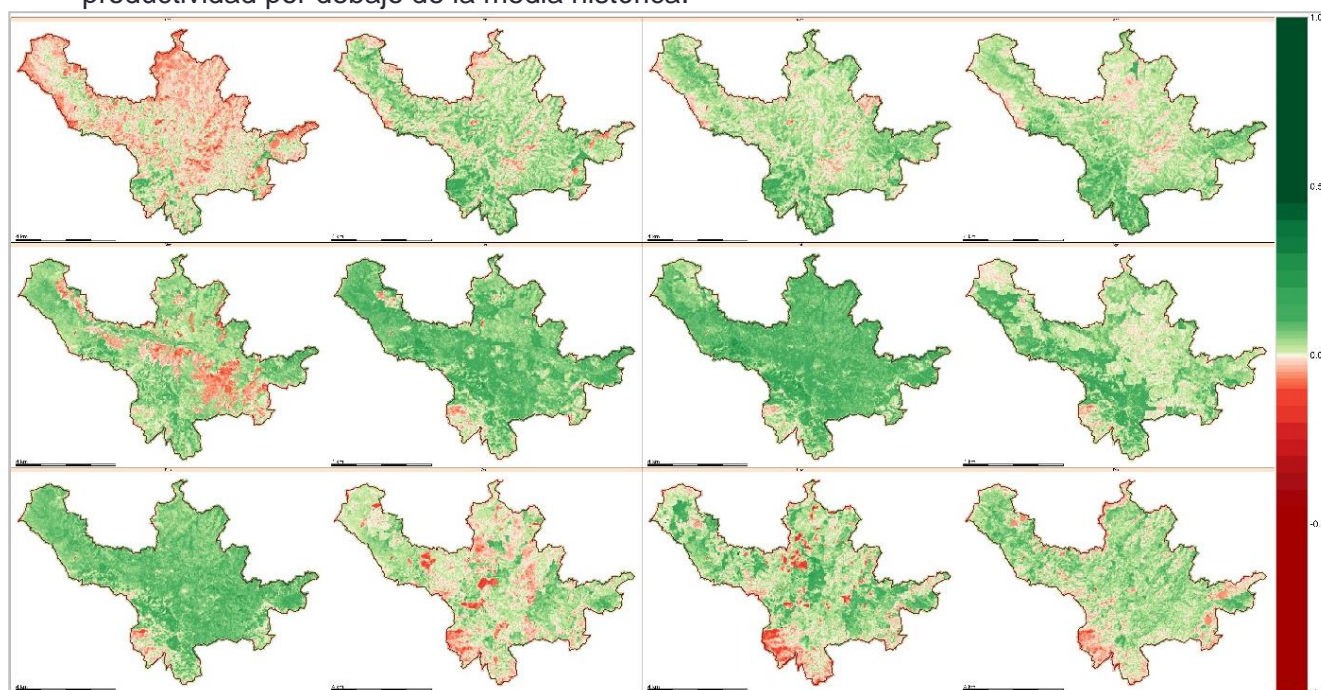


Figura 75. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (2000 - 2021).

Durante el año 2021, la producción primaria en el parque se ha situado por encima de la media histórica, aunque se aprecia al suroeste del parque pequeñas áreas localizadas con valores negativo (Figura 76).

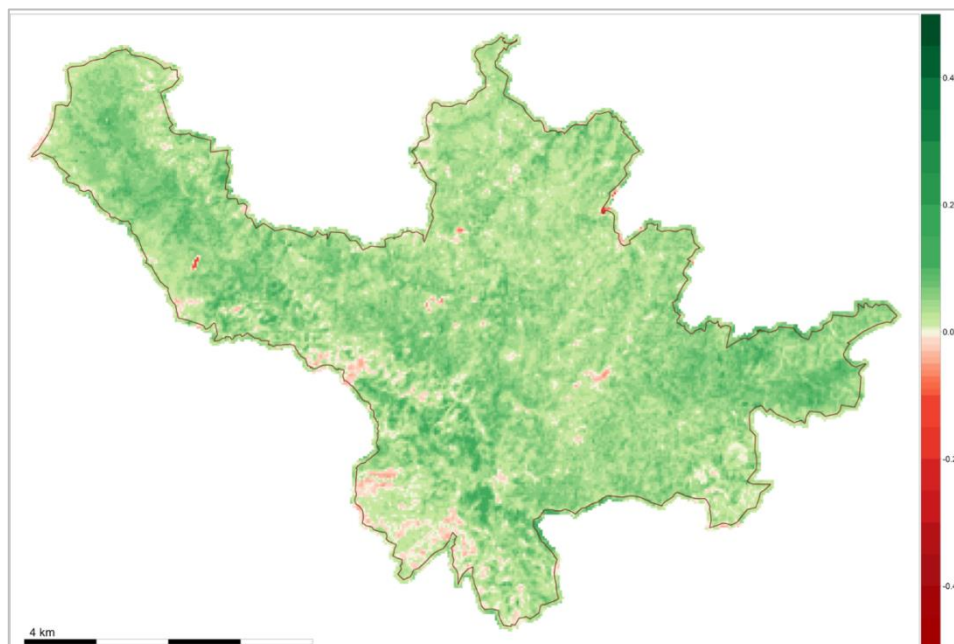


Figura 76. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (2000-2021)

La productividad del año 2021 se encuentra por encima de la media mensual histórica, mostrando los valores más altos durante los meses de verano. (Figura 77).

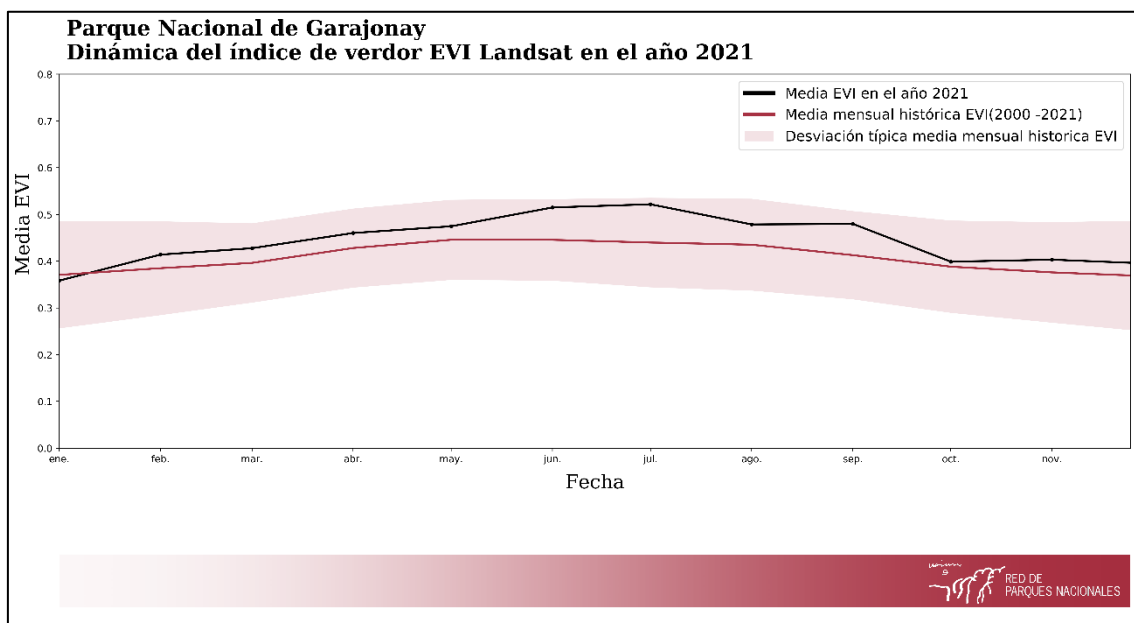


Figura 77. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en el parque.

Este comportamiento es visible en los principales sistemas naturales que conforman al parque, tal y como se puede observar en la Figura 78.

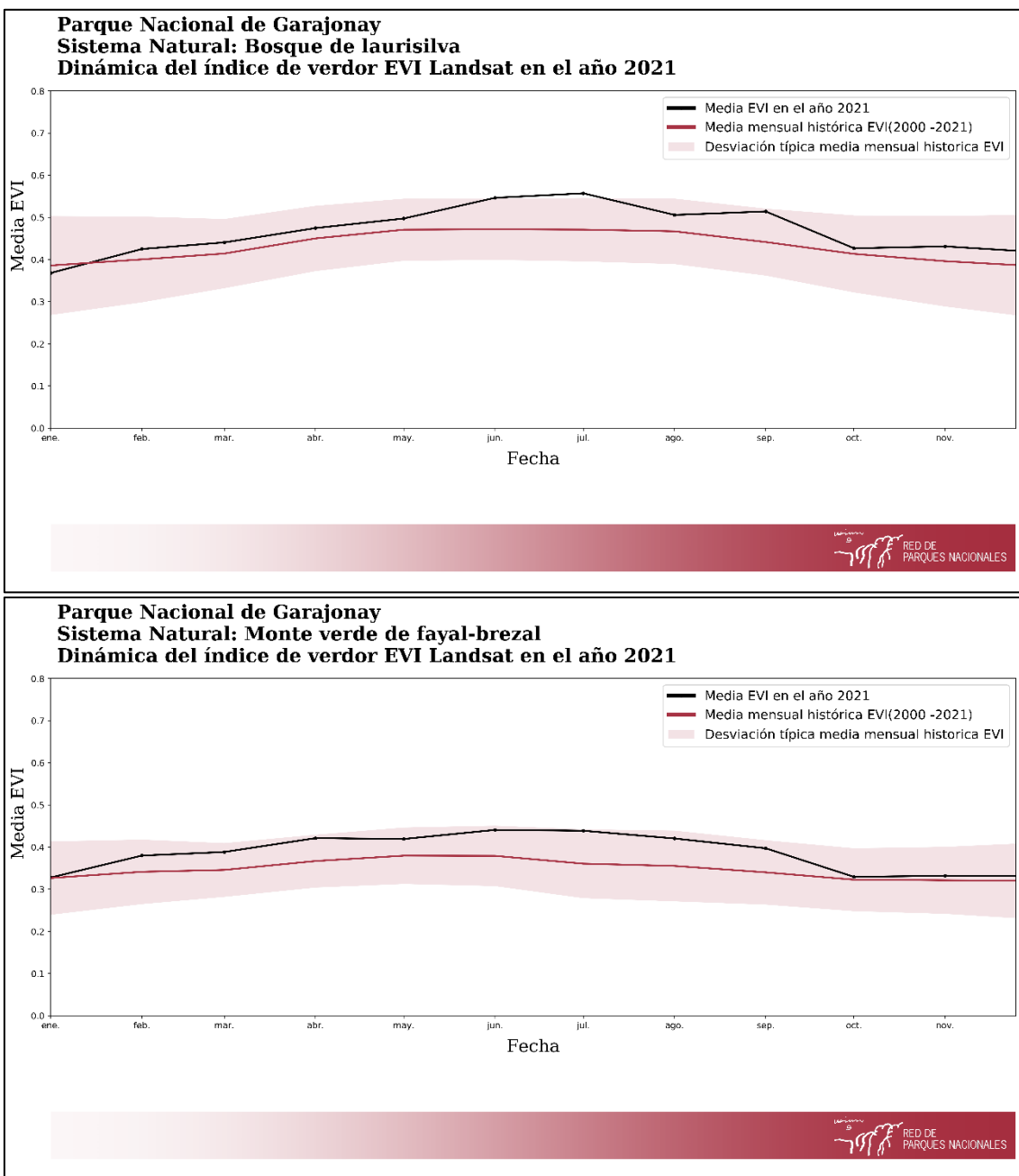


Figura 78. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.



4.7. PARQUE NACIONAL DE GUADARRAMA

Los ecosistemas de robledal, situados a menor altitud, presentan los valores máximos de productividad, seguidos por zonas de matorrales y pinares, donde se disminuye la productividad para finalmente, encontrar valores muy bajos en las zonas de cumbre, donde se encuentran pastizales psicroxerófilos (Figura 79).

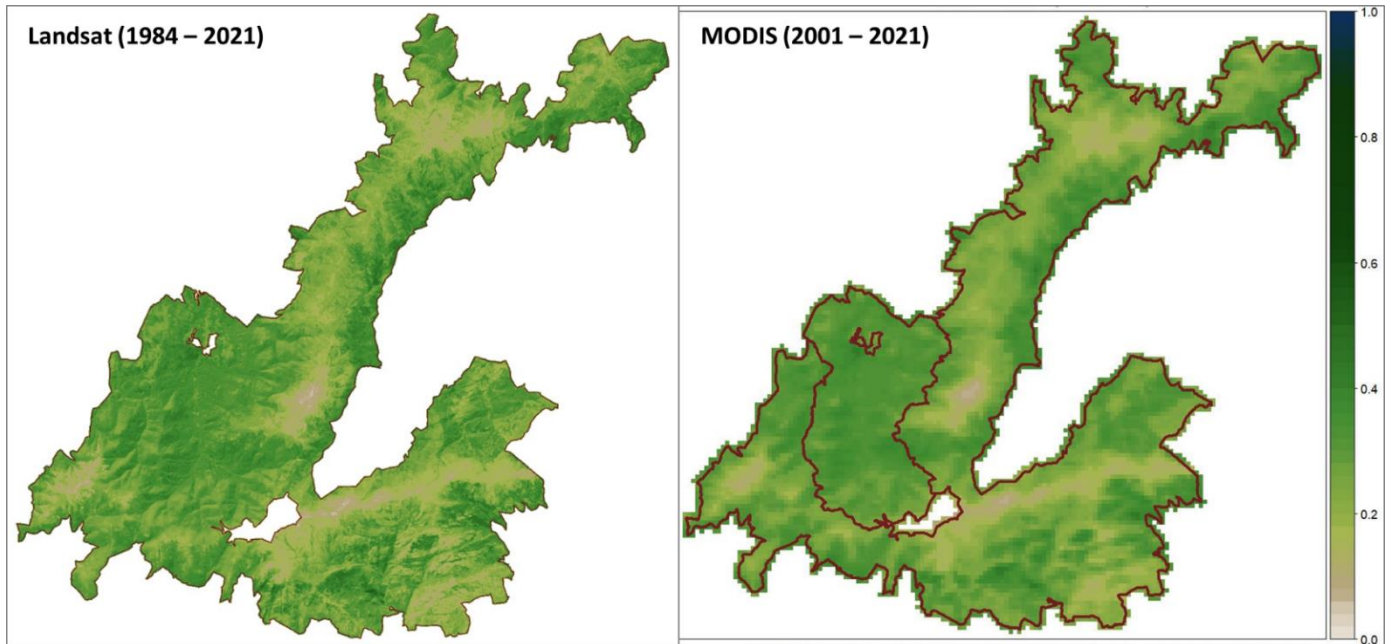


Figura 79. Producción primaria expresada como el valor medio del índice EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal. A la izquierda Landsat (1984 - 2021), a la derecha MODIS (2001 - 2021).

En cuanto a la dinámica del verdor del parque (Figura 80), se muestra que durante el invierno y otoño los valores son inferiores respecto a la primavera y el verano, siendo en la época estival donde se obtienen máximos.

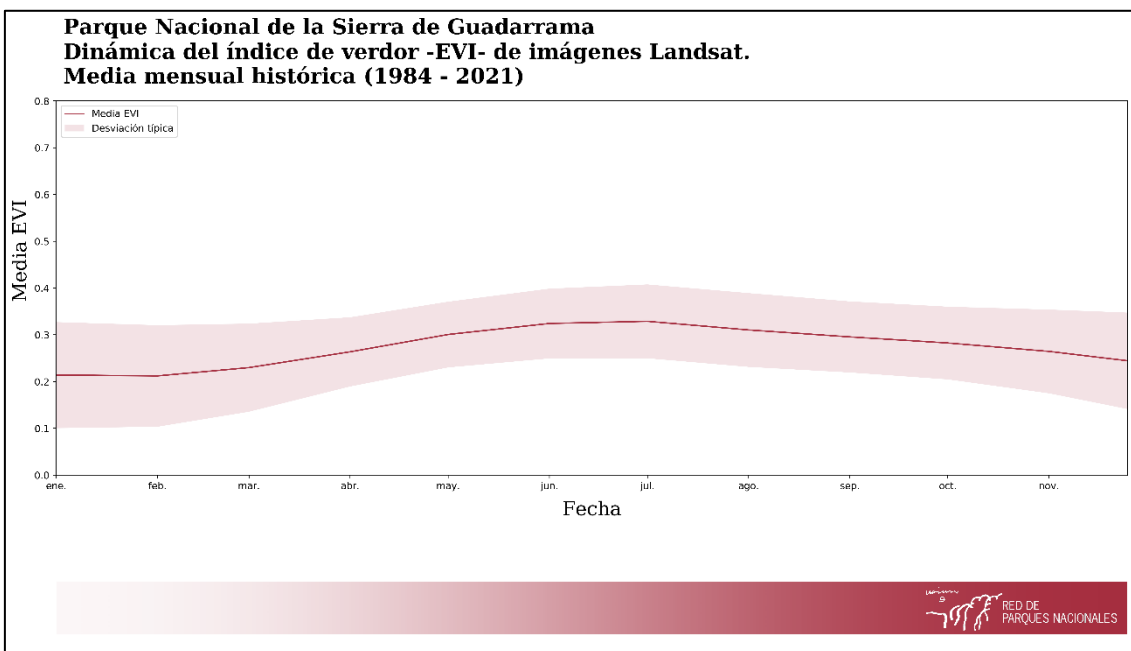
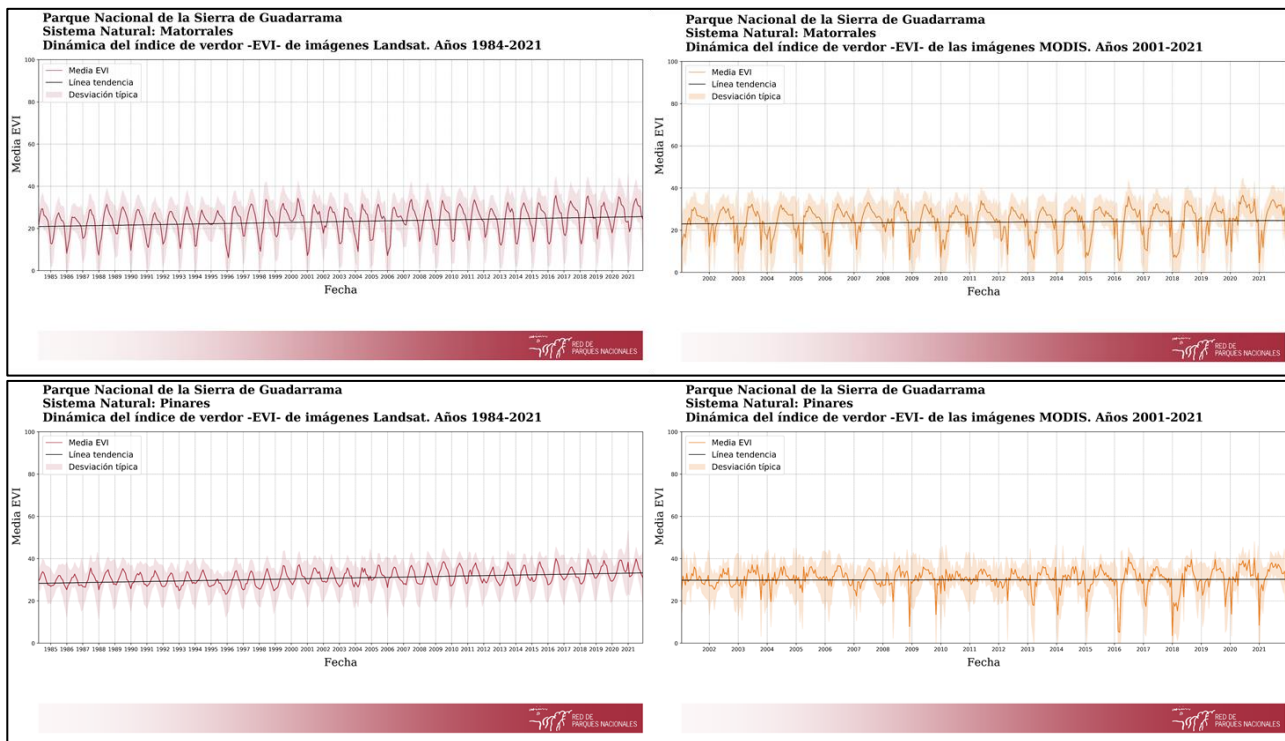


Figura 80. Media mensual histórica del Parque Nacional de Guadarrama (1984 - 2021).

La evolución de la productividad en los ecosistemas principales del parque muestra una tendencia ligeramente creciente, tanto en Landsat como en MODIS, siendo más pronunciado en el primero (Figura 81).



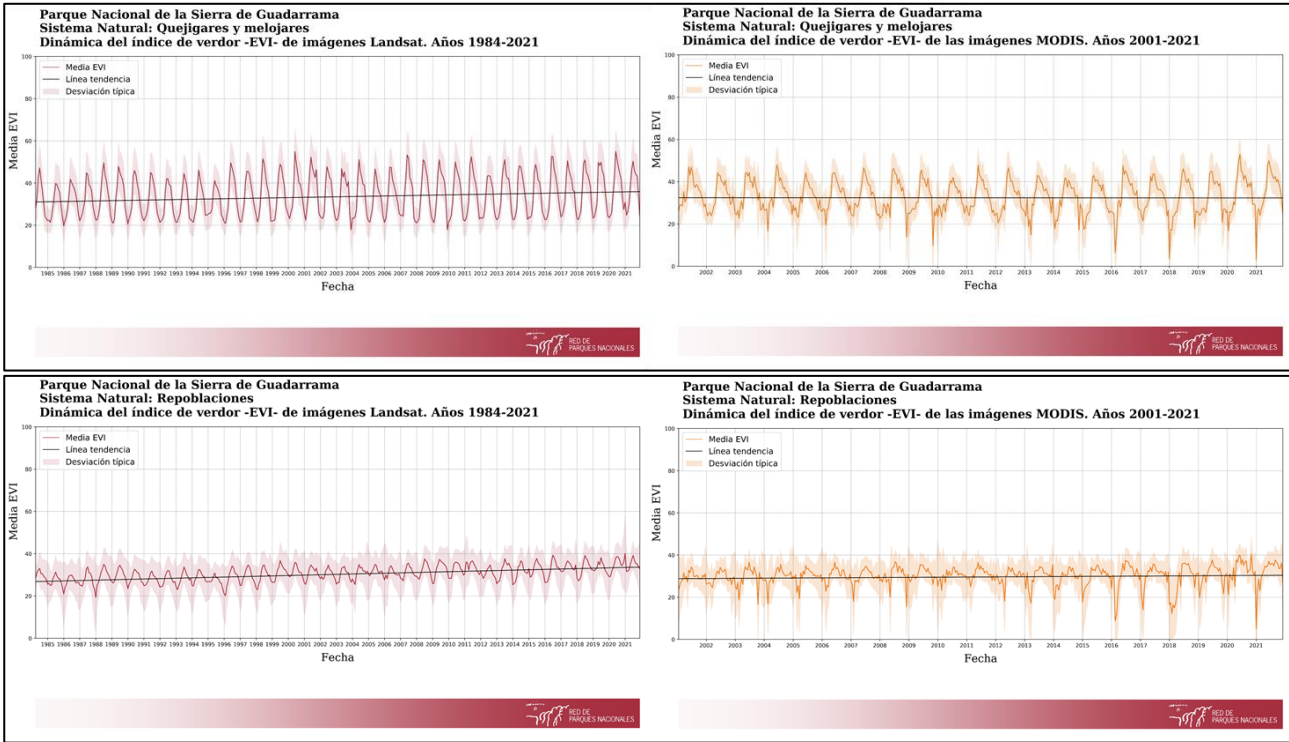
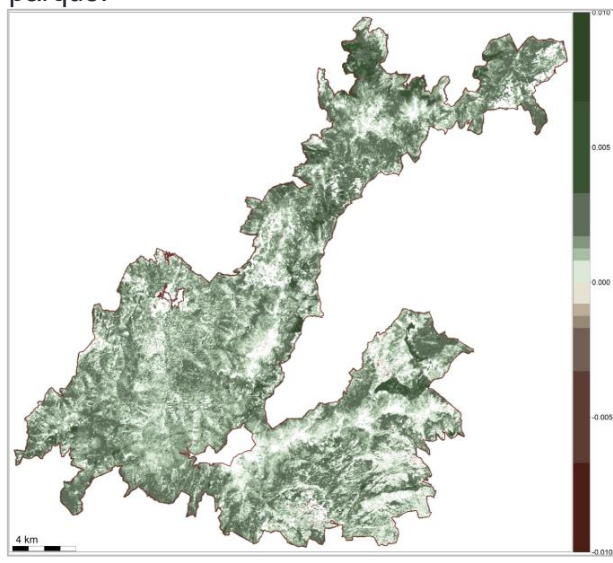


Figura 81. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

Esto se puede observar en la tendencia de la productividad (Figura 82, arriba), donde las que tendencias significativas son positivas, mientras que en las zonas de mayor altitud son poco significativas, así como en el área en el que tuvo lugar el incendio de 2019.

Se presentan tendencias de estacionalidad positivas en las zonas boscosas de menor de pendiente, a excepción de las repoblaciones de pinar que se han llevado a cabo en el norte del parque.



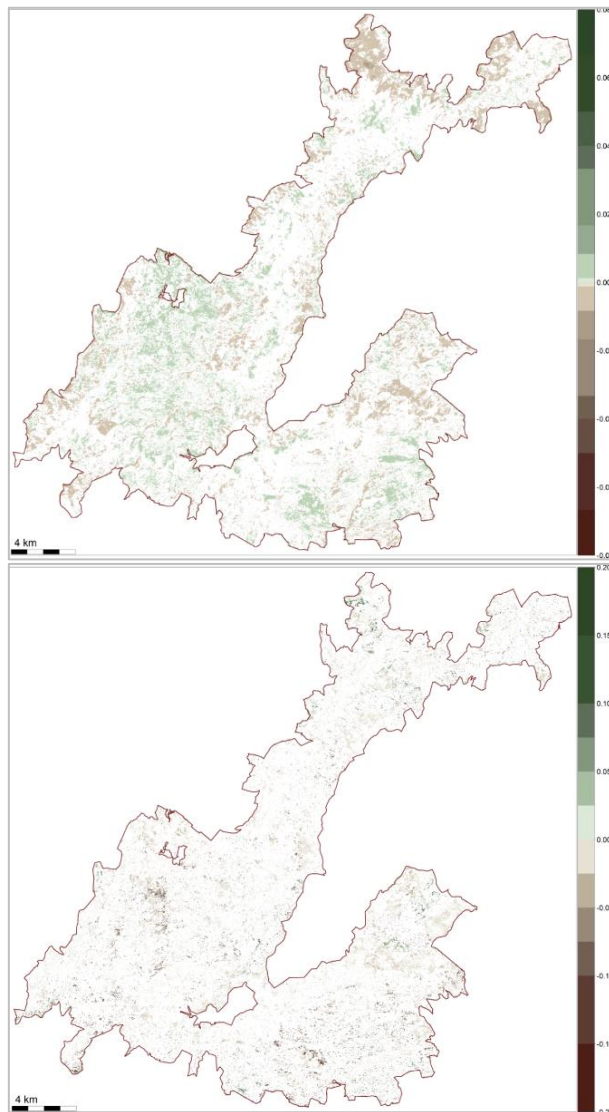


Figura 82. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 10).

Tabla 10. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Guadarrama.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológicos compatibles |
|------------------------|--|----------------|-----------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Matorrales | (+): 86,55 | (+): 7,95 | Retraso: 1,65 | Procesos de matorralización en zonas supraforestales. Pérdida de |
| | (-): 0,35 | (-): 10,37 | Adelanto: 12,32 | pastizales psicroxerófilos en las cimas. Desplazamiento altitudinal del pino silvestre. Está ascendiendo y desapareciendo por debajo de los 1200 msnm. Pérdida de zonas de pastizal en las cumbres. Disminución de los días de nieve. Disminución del sobrepastoreo en zonas altas. Desaparición del ganado vacuno. El pastoreo por ovejas se produce fundamentalmente en zonas bajas. Los cambios en la precipitación están favoreciendo al matorral (primaveras lluviosas seguidas de altas temperaturas). |
| Pinares | (+): 91,25 | (+): 22,44 | Retraso: 1,1 | Incremento de la cobertura del pinar en respuesta al aumento de las |
| | (-): 0,48 | (-): 13,65 | Adelanto: 11,3 | temperaturas, sin disminución de precipitaciones en el balance anual, y más periodos de fusión de nieve. Regeneración de <i>Pinus sylvestris</i> tras incendio. Aumento de la cobertura de especies caducifolias en masas mixtas. |
| Quejigares y melojares | (+): 91,75 | (+): 36,9 | Retraso: 12,7 | El aumento exagerado de la temperatura, podría estar |
| | (-): 1,0 | (-): 4,1 | Adelanto: 0,2 | estimulando la productividad del bosque, ya que no hay disminución significativa en la precipitación en el balance anual, y más periodos de fusión de nieve. Algunas áreas muestran descensos en la estacionalidad en respuesta a disminución de las precipitaciones estivales. |
| Repoblaciones | (+): 87,58 | (+): 10,05 | Retraso: 13,0 | Incremento de la cobertura del pinar en respuesta al aumento de las |
| | (-): 1,87 | (-): 28,08 | Adelanto: 0,9 | temperaturas, sin disminución de precipitaciones en el balance anual, y más periodos de fusión de nieve. Replantedo de pinos en zonas por debajo de 1200 m afectadas por escolíticos. |



En la Figura 83 y Figura 84 se presenta la cartografía de variaciones encontradas en los meses del año 2021 en relación a los valores medios de la serie temporal completa. El color verde indica un aumento de la vegetación mientras que el rojo una disminución.

Se aprecia una alta actividad de la vegetación a lo largo del año, destacando durante los meses de invierno y otoño valores negativos en zonas de alta montaña, coincidente con áreas de escasa vegetación.

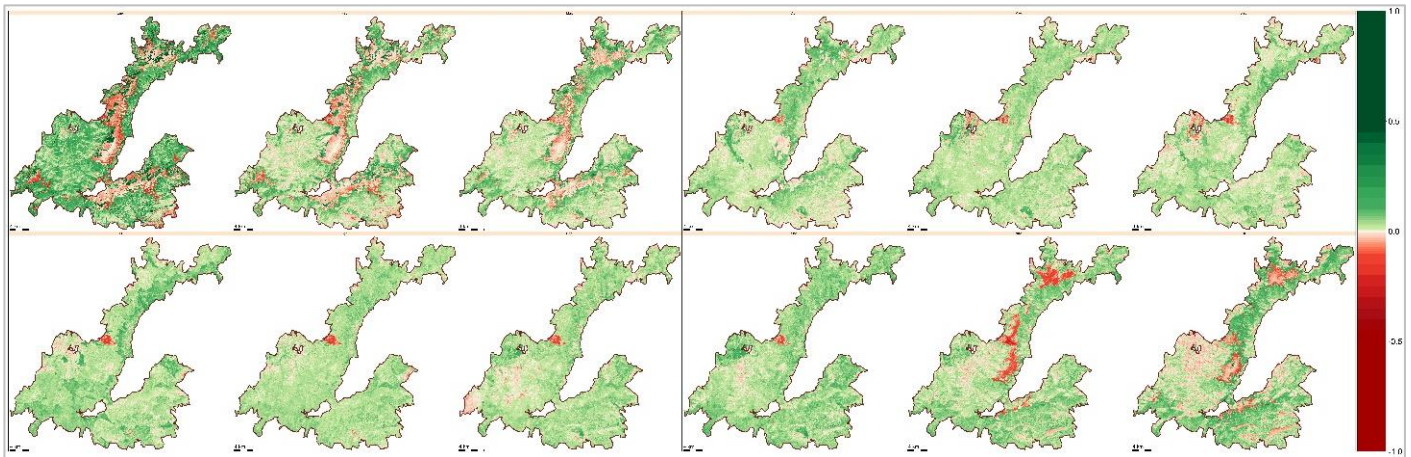


Figura 83. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

Al oeste del parque se encuentra el área afectada en el incendio del año 2019, donde la vegetación existente aún no se ha recuperado.

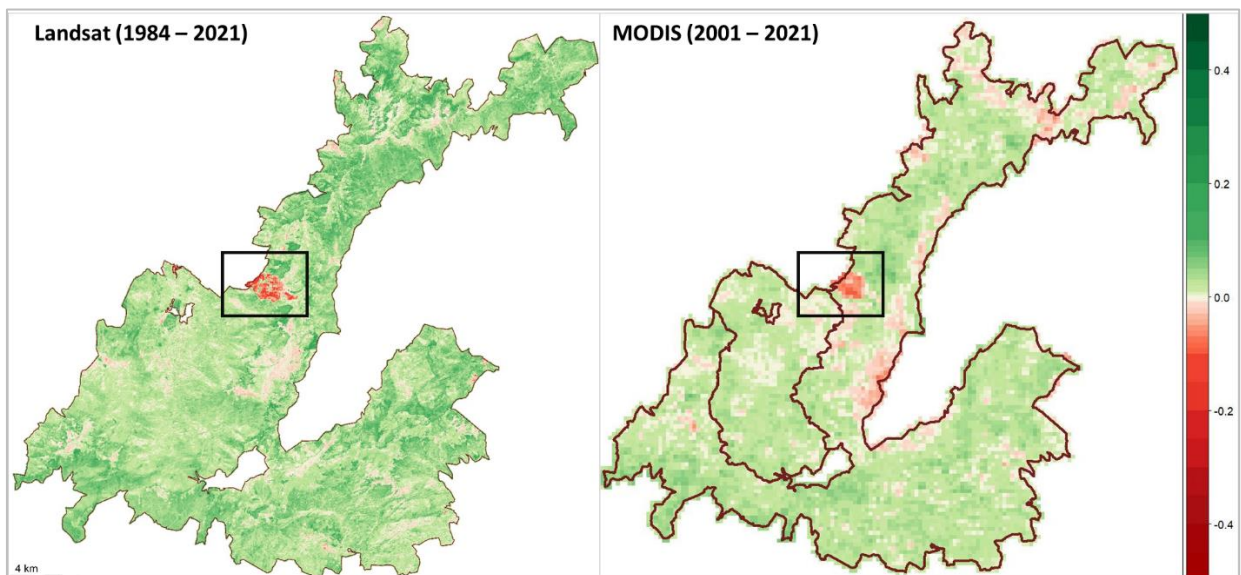


Figura 84. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio, señalando el Área afectada por el incendio del 2019. Landsat (izq.) y MODIS (dcha.)

La dinámica del índice de verdor indica un incremento de la productividad en el año 2021 respecto a la media histórica del parque, siendo bastante pronunciado en el mes de enero (Figura 85).

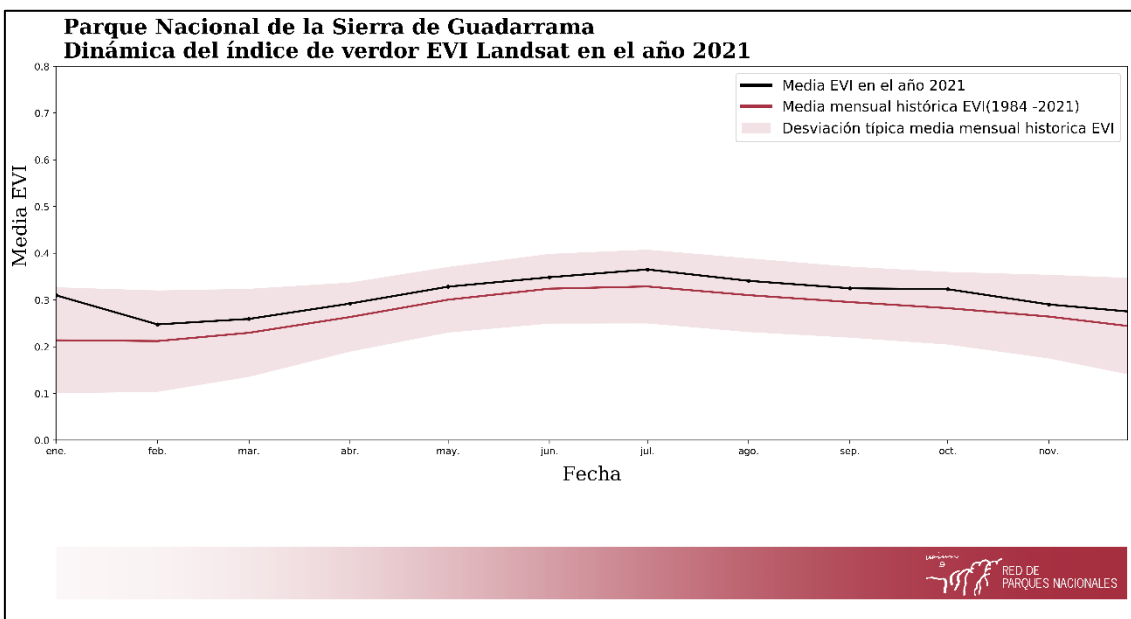


Figura 85. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

Este comportamiento es visible en los principales sistemas naturales vegetales (Figura 86).

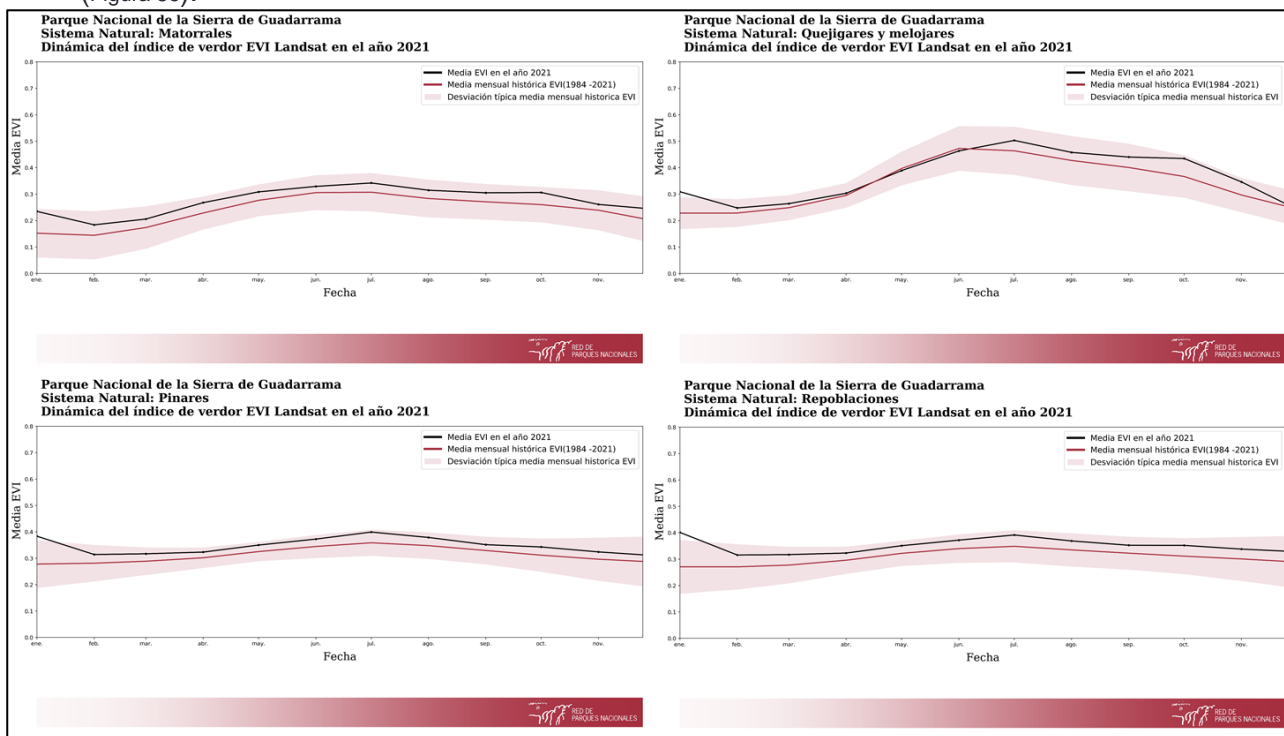


Figura 86. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.



4.8. PARQUE NACIONAL MARÍTIMO-TERRESTRE DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS

Este parque nacional es muy homogéneo en cuanto a la productividad, donde los pastizales y las repoblaciones presentan sus valores máximos (Figura 87).

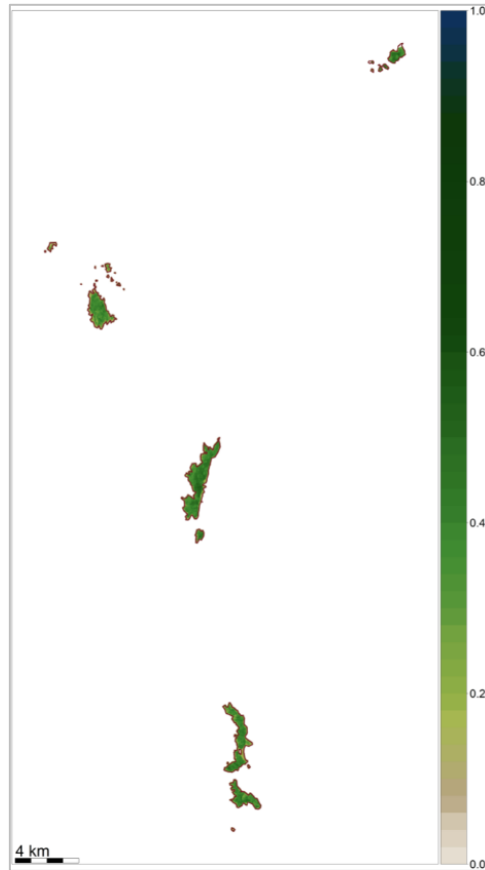


Figura 87. Producción primaria expresada como el valor medio del índice EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal. Landsat (1984 – 2021)

En cuanto a la dinámica media del parque (Figura 88), en primavera se incrementa la productividad, para disminuir en verano y aumentar ligeramente en otoño.

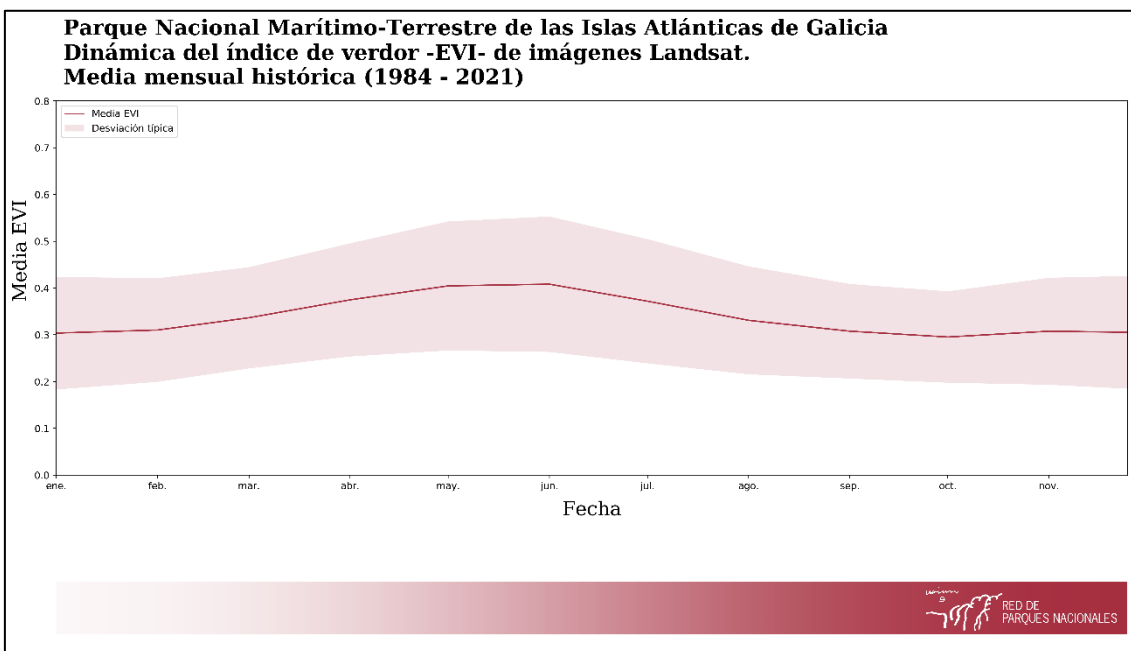
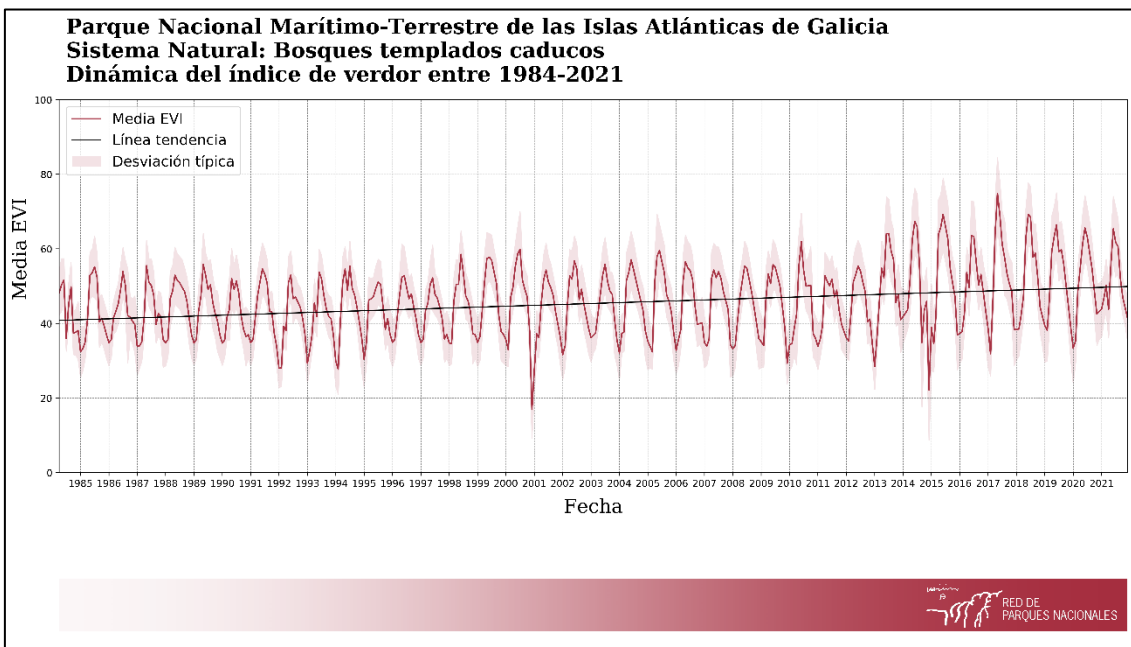


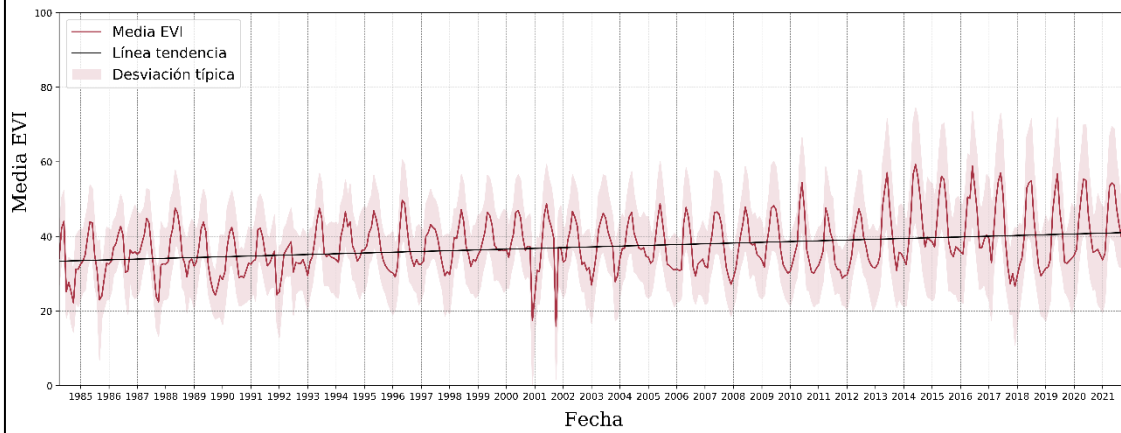
Figura 88. Media mensual histórica del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (1984 - 2021).

La tendencia de la productividad en los principales sistemas naturales muestra un incremento, siendo más pronunciada en los matorrales y en los ecosistemas de bosque. En el caso de las costas y las repoblaciones este incremento es más suave (Figura 89).

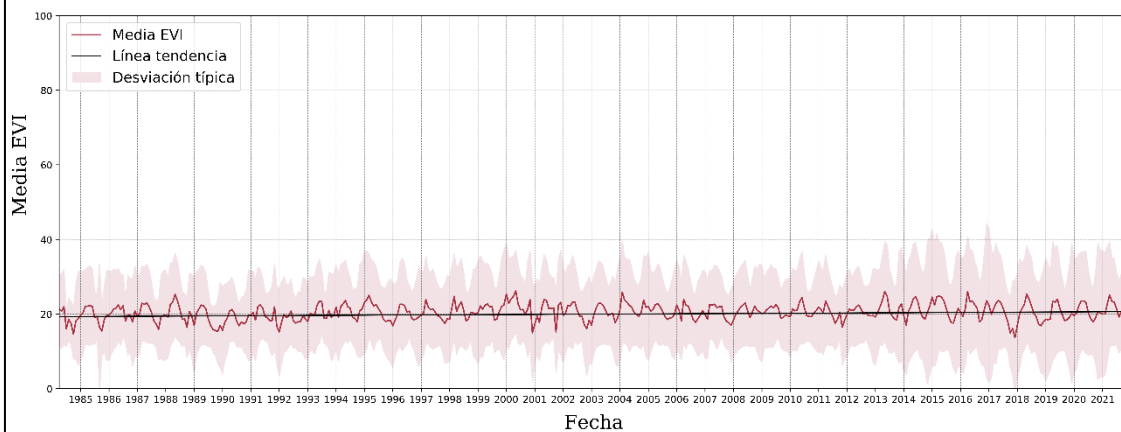




Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia
Sistema Natural: Matorrales
Dinámica del índice de verdor entre 1984-2021



Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia
Sistema Natural: Costas, acantilados, dunas y depósitos litorales
Dinámica del índice de verdor entre 1984-2021



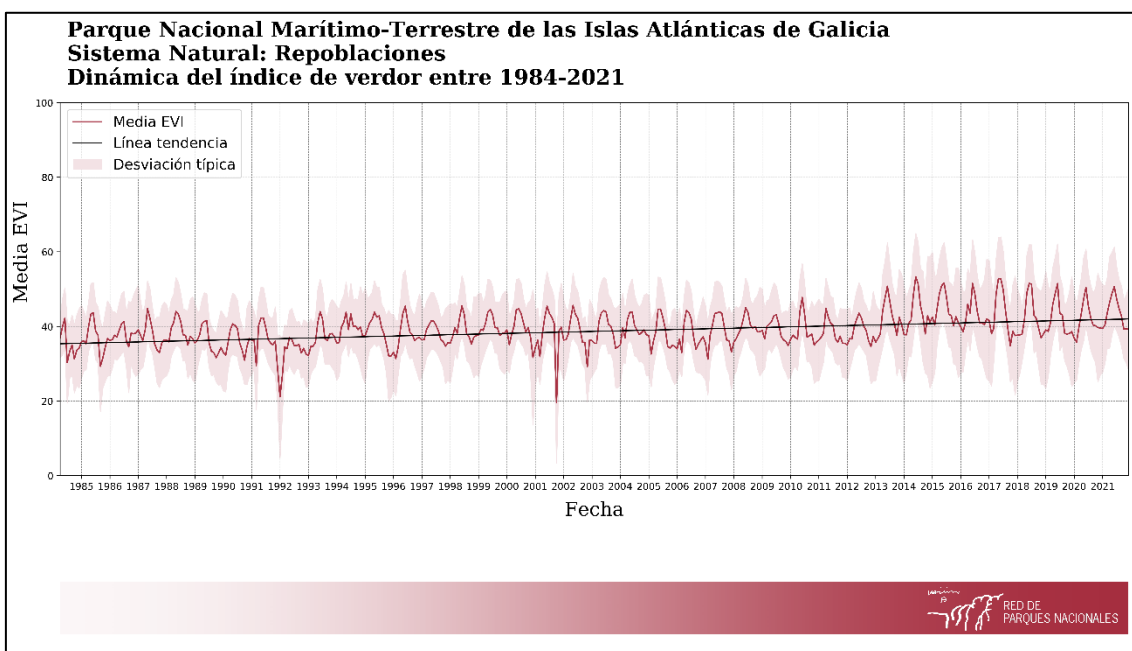
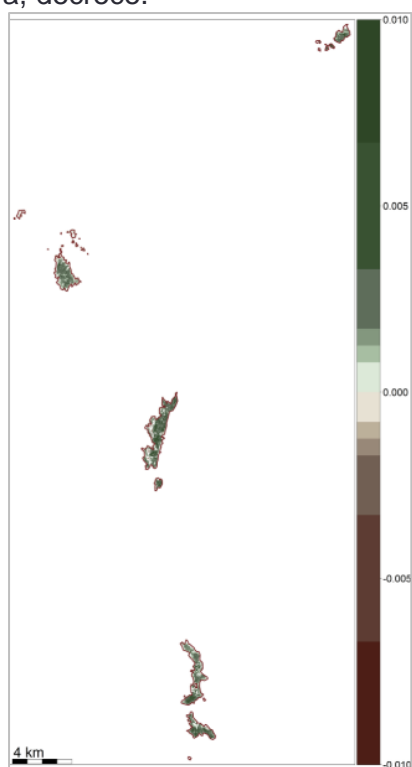


Figura 89. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021)

En la primera imagen se aprecia que la tendencia en la productividad en todas las islas se incrementa y la tendencia en la estacionalidad (segunda imagen de la Figura 90), donde es significativa, decrece.



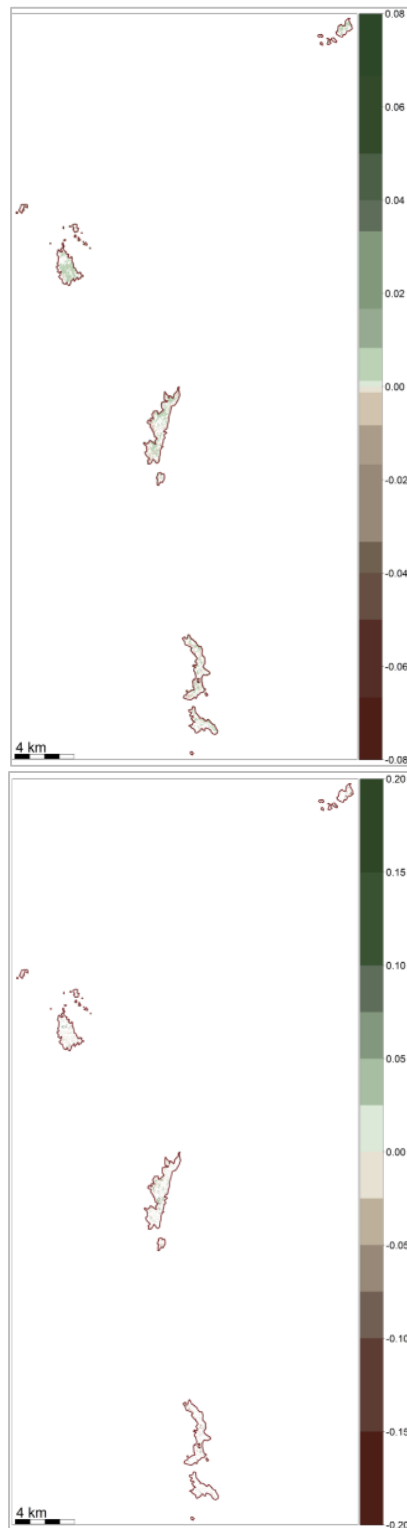


Figura 90. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 11).



ORGANISMO
ALTO COMISARIO
PARQUES
NACIONALES

Informe de resultados de estado, tendencias y anomalías de la productividad primaria en la Red de Parques Nacionales. - 2021

Tabla 11. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|--|--|----------------|----------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Bosques templados caducos | (+): 97,2 | (+): 85,5 | Retraso: 8,8 | Las elevadas fluctuaciones en la estacionalidad y el retraso en la fenología puede deberse a, como indican Bérnardez et al. (2015), la disminución de las precipitaciones durante el periodo estival, que unido a la escasa capacidad del suelo para almacenar agua, supone una gran disminución de su disponibilidad. Este hecho, no obstante, contrasta con el incremento en la PPN. |
| | (-): 1,8 | (-): 10,0 | Adelanto: 3,4 | |
| Costas, acantilados, dunas y depósitos naturales | (+): 46,1 | (+): 35,2 | Retraso: 2,6 | Las altas tendencias negativas en PPN pueden deberse a <u>al pisoteo</u> . La presión turística supone un gran problema que afecta a la vegetación de playas y dunas. El uso de vallados que rodea los sistemas dunares puede paliar esta situación |
| | (-): 22,92 | (-): 7,5 | Adelanto: 13,7 | |
| Matorrales | (+): 83,6 | (+): 44,46 | Retraso: 79,2 | Variación en la estacionalidad y fenología posiblemente debidas a las diferencias en los tipos de vegetación de cada isla. Por ejemplo, en Cíes los brezales están ausentes y en cambio, se extienden junto a otras especies de matorral por zonas de dunas y playas hasta acantilados en otras islas. |
| | (-): 12,1 | (-): 12,8 | Adelanto: 5,2 | |
| Repoblaciones | (+): 88,8 | (+): 53,4 | Retraso: 78,9 | El principal problema, sobre todo en Cíes han sido las plantaciones de eucaliptos, pinos y acacias, las cuales han desplazado a la vegetación autóctona. Esto explicaría el retraso que se ha registrado en la fenología, así como las variaciones en la estacionalidad. |
| | (-): 9,1 | (-): 37,8 | Adelanto: 4,9 | |

En cuanto a las anomalías en el verdor del año 2021 respecto a la media histórica del parque, se observa que, los matorrales que se encuentran al oeste y sur de la isla de Ons muestran valores menores a la media. Sin embargo, el parque se encuentra por encima de la media a lo largo de todos los meses (Figura 91).

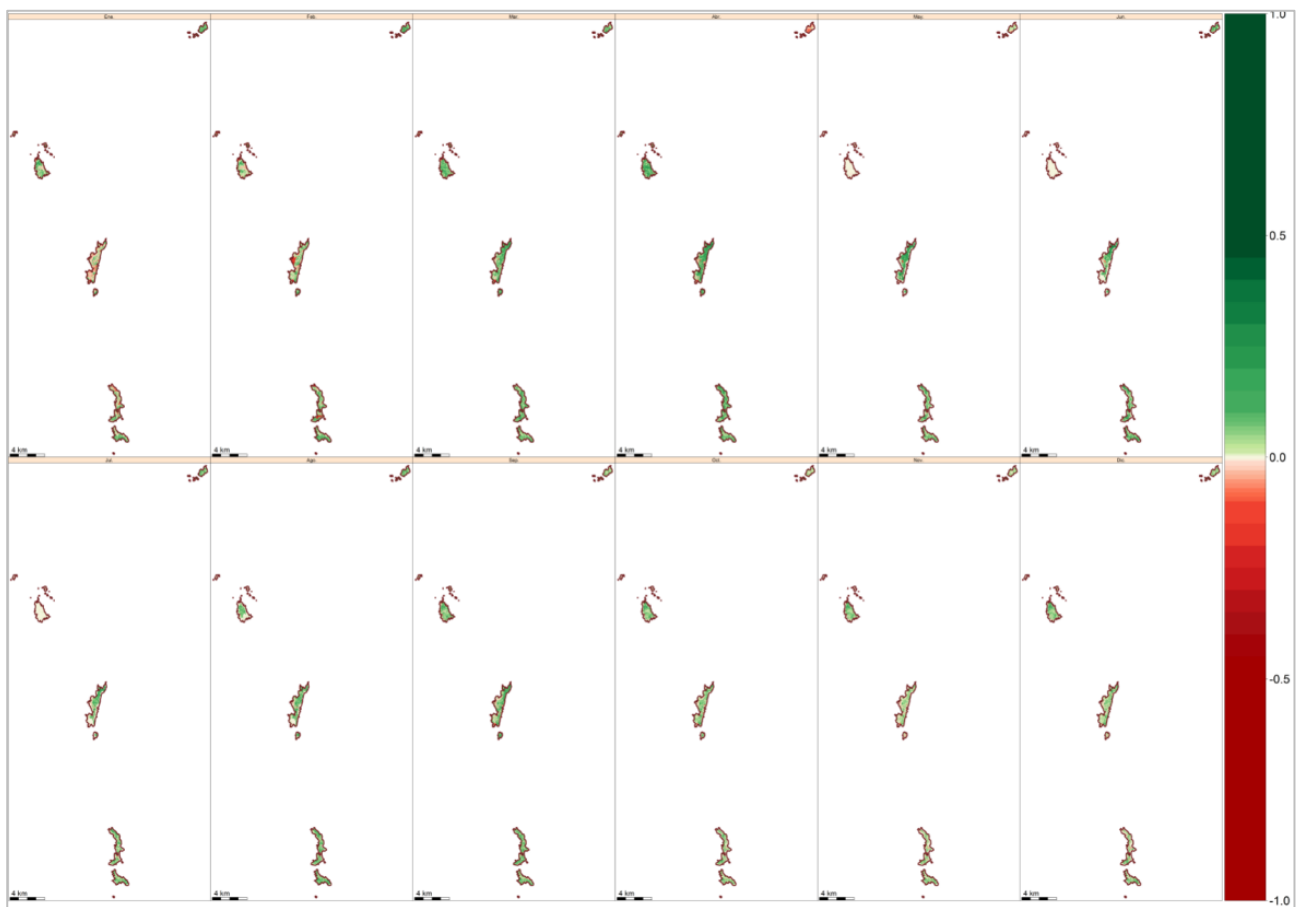


Figura 91. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

Por todo ello, el parque presenta una productividad superior a la media del periodo histórico, exceptuando los matorrales mencionados en el apartado anterior (Figura 92).

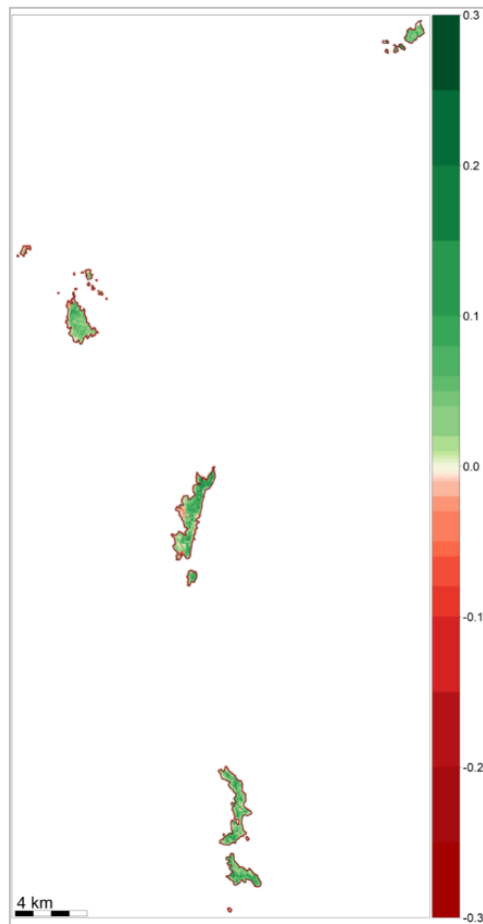


Figura 92. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

La dinámica del verdor de 2021 muestra como la productividad se encuentra por encima de la media, distanciándose más en los meses de primavera, aunque dentro del rango de variación histórico (Figura 93).

Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia
Dinámica del índice de verdor EVI Landsat en el año 2021

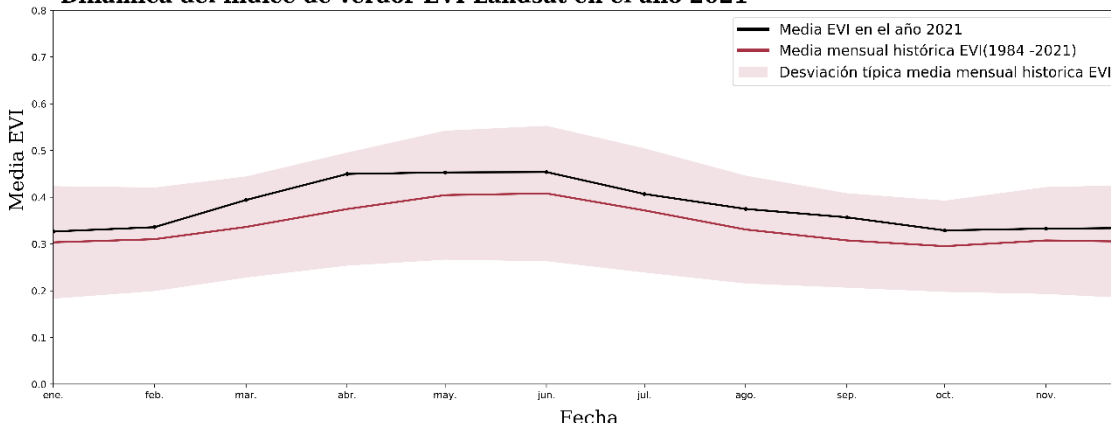


Figura 93. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

Los principales ecosistemas que se encuentran en el parque tienen un comportamiento desigual (Figura 94). En el caso de los bosques templados caducos, la productividad disminuye drásticamente en el mes de abril para posteriormente situarse por encima del rango de desviación de la media en la época estival. En el caso de los matorrales y las repoblaciones, muestra que la productividad se encuentra por encima de la media, siendo más notable en primavera.

En los roquedos, en los que apenas hay vegetación la productividad se mantienen estables.

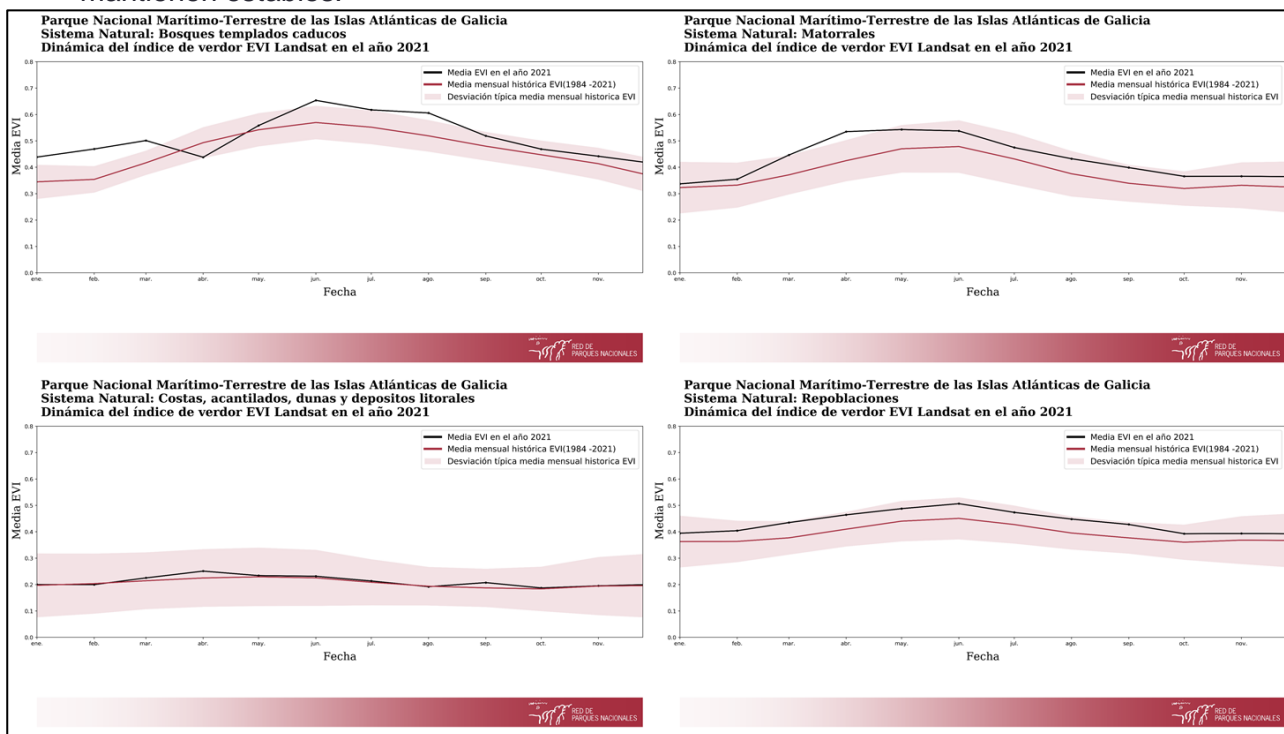


Figura 94. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.



4.8.1. Desarrollo del sistema REMOTE en el ámbito marino

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de temperatura superficial del mar y clorofila en el Parque. En este estudio, el límite está extendido a la Zona de Especial Protección existente en el área de la costa, dado que los límites oficiales del parque son muy pequeños en torno a las islas e impedirían un análisis adecuado del entorno marítimo (Figura 95).

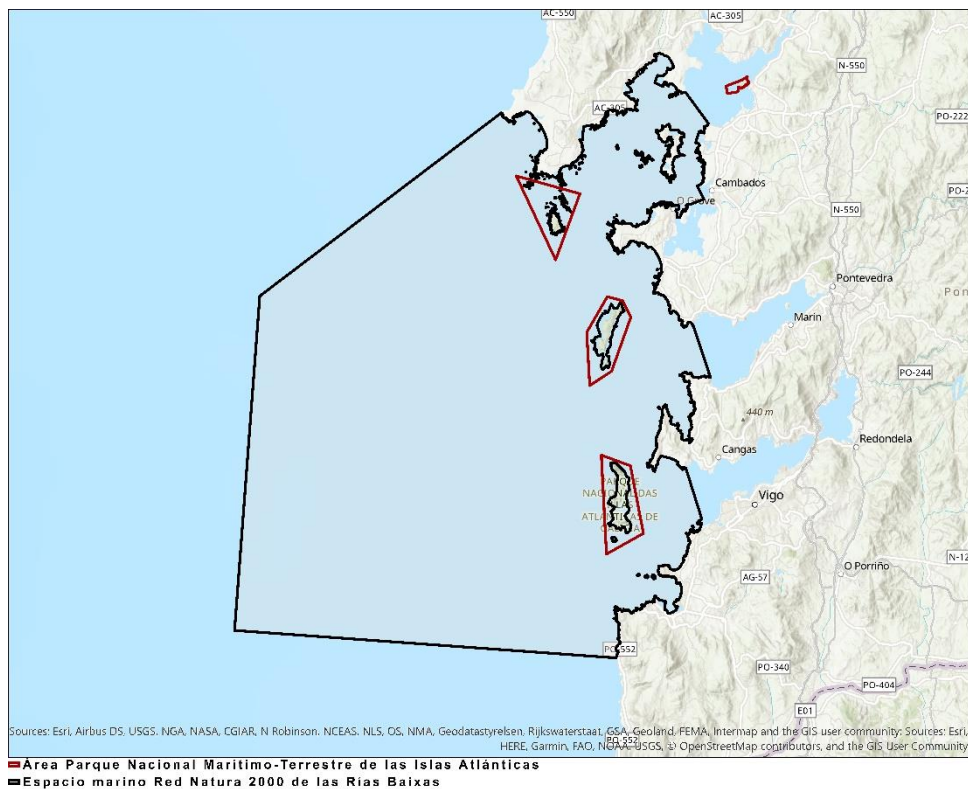


Figura 95. Área de estudio del ámbito marino del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas.

4.8.1.1. Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial del mar en el área del parque nacional se sitúa en torno a los 15,8°, alcanzando una temperatura máxima media de 19° en la época estival, y una temperatura mínima media en invierno en torno a los 11°.

Tal y como se muestra en la Figura 96, la tendencia de la temperatura es ligeramente ascendente desde 1982.

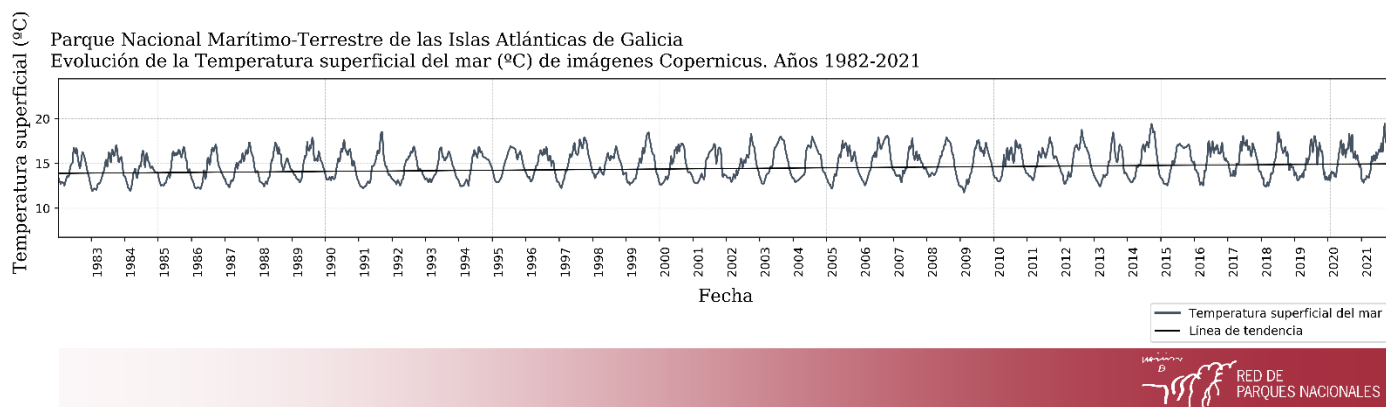


Figura 96. Evolución de la temperatura superficial del mar en el Parque Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (1982 – 2021)

4.8.1.2. Clorofila-a

La concentración de chl-a es más alta en este parque que en el caso del Archipiélago de Cabrera. Se aprecia que los valores se encuentran entre 1 y 5 mg/m³, alcanzando los máximos a mediados de primavera y verano, mientras que los mínimos se concentran en invierno (Figura 97).

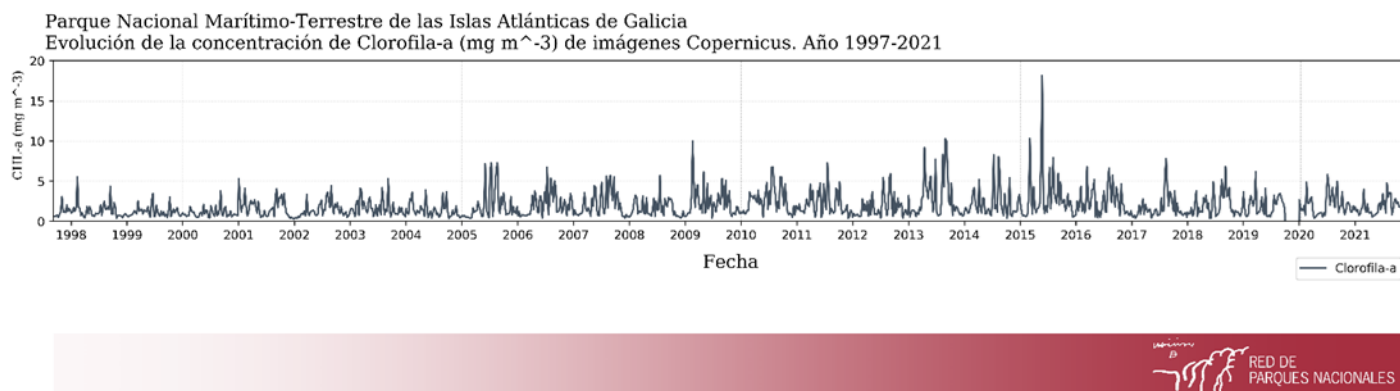


Figura 97. Evolución de la clorofila-a en el Parque Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas de Galicia (1997 – 2021)

4.9. PARQUE NACIONAL DE MONFRAGÜE

La producción primaria en este parque es media, encontrando sus valores máximos en los matorrales y bosques con orientación norte (Figura 98).

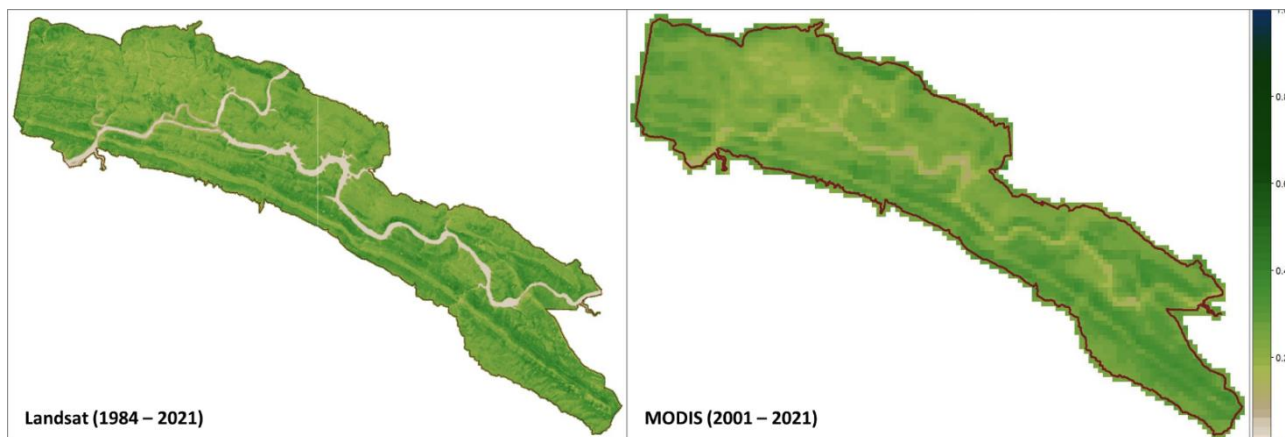


Figura 98. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

Tal y como se muestra en la Figura 99, la productividad en el parque es bastante homogénea a lo largo del año, aumentando levemente en primavera, para disminuir en los meses de verano.

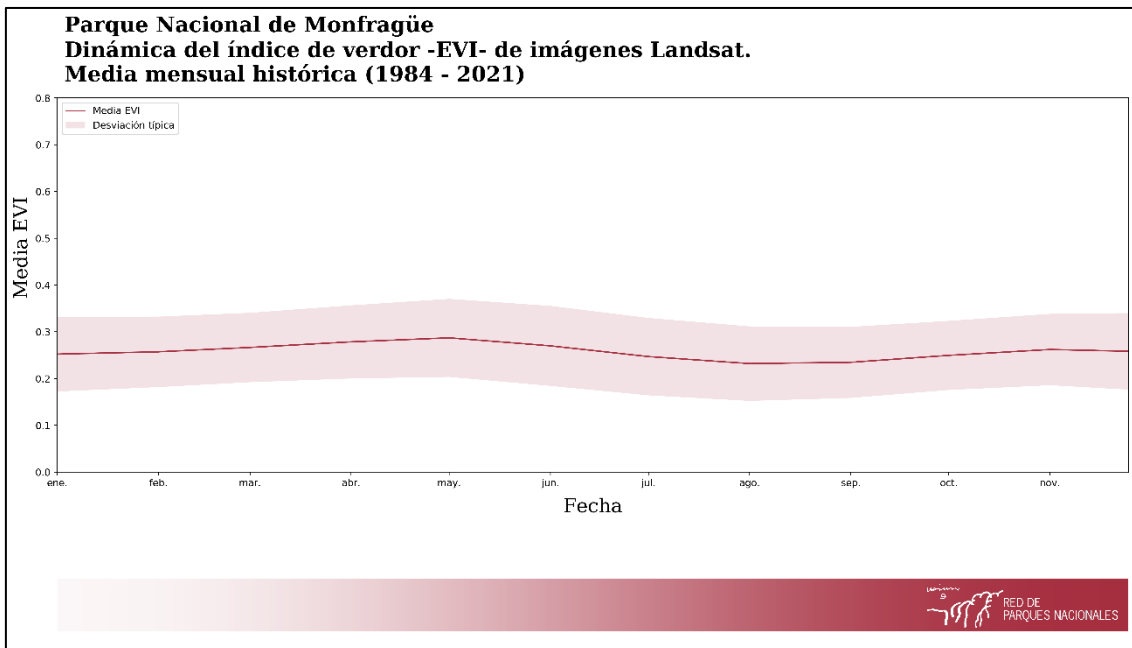


Figura 99. Media mensual histórica del Parque Nacional de Monfragüe (1984 - 2021).

Los sistemas naturales vegetales presentan una tendencia ascendente en todos los casos, siendo menos pronunciada en los ecosistemas de matorrales y repoblaciones (Figura 100).

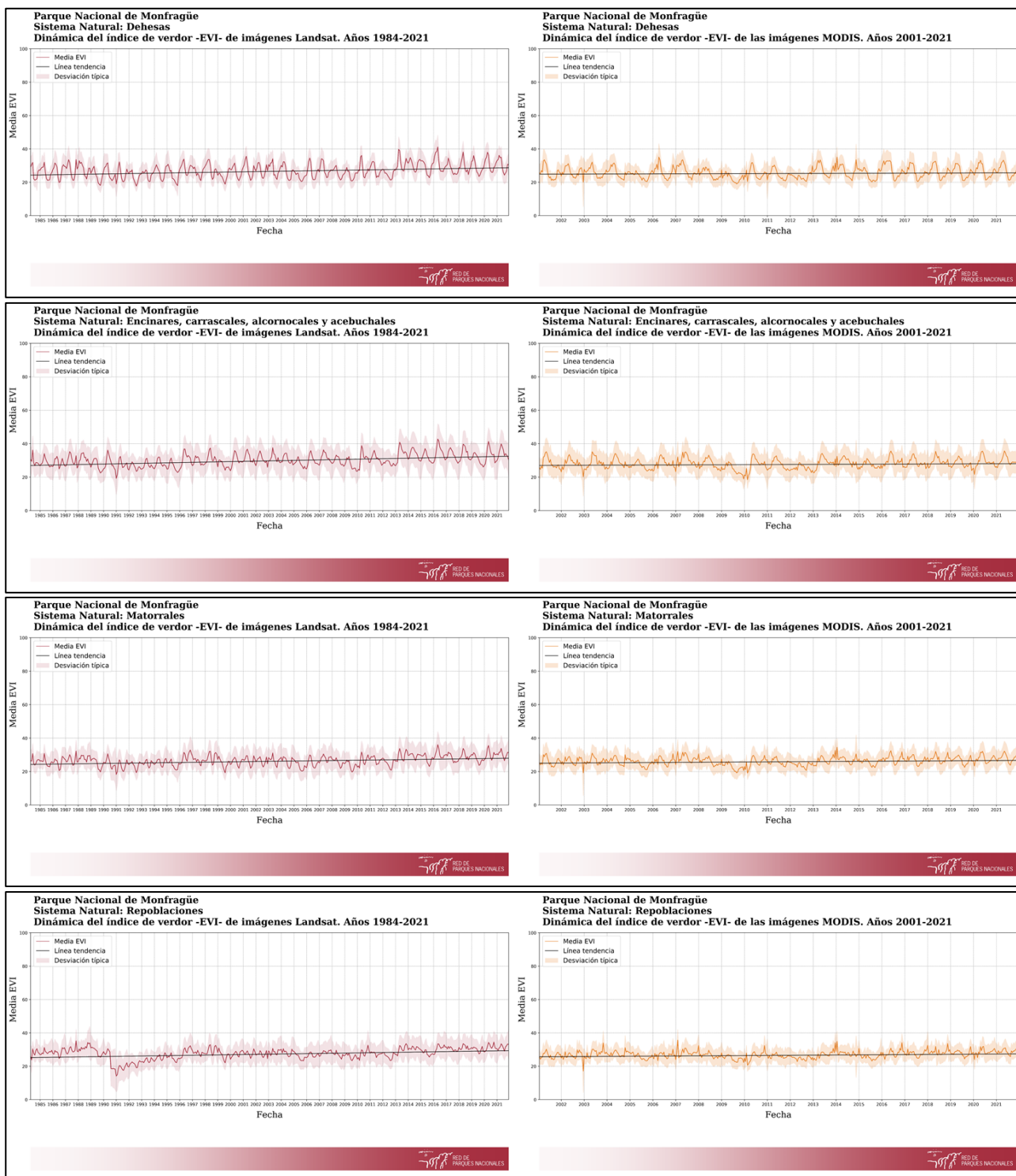


Figura 100. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

La tendencia en la productividad del parque es principalmente ascendente, exceptuando las repoblaciones situadas al noreste del mismo.

En cuanto a la tendencia de la estacionalidad, el parque presenta una disminución de la misma en los ecosistemas de bosque y matorral situados al norte del



parque. Los ecosistemas de matorral y las dehesas presentan una tendencia positiva (Figura 101).

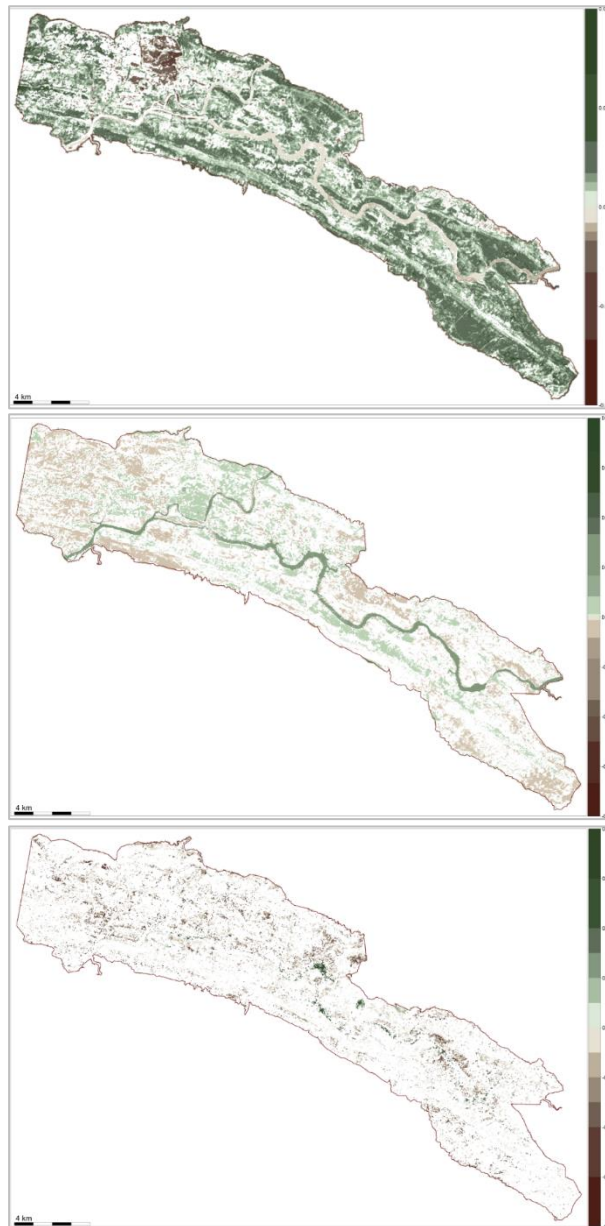


Figura 101. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la tabla 12 se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales.

Tabla 12. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Monfragüe.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---|--|----------------|-----------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Dehesas | (+): 78,56 | (+): 12,57 | Retraso: 1,19 | Las áreas con descenso en la estacionalidad podrían |
| | (-): 0,85 | (-): 38,74 | Adelanto: 16,72 | corresponder a una excesiva presión de herbivoría por superpoblación de ciervos. No obstante, son más frecuentes las áreas en que aumenta la estacionalidad de la cubierta vegetal (buena cobertura de herbáceas), lo que sugiere un buen control de la población de ungulados por el lobo. |
| Encinares, carrascales, alcornoques y acebuchales | (+): 86,80 | (+): 20,64 | Retraso: 0,75 | Aumentos en la cobertura de especies arbóreas. |
| | (-): 0,87 | (-): 20,37 | Adelanto: 15,37 | |
| Matorrales | (+): 70,4 | (+): 16,4 | Retraso: 0,68 | La falta de pastores y la escasa e impredecible rentabilidad de la ganadería extensiva propicia el aumento de la cobertura del matorral (matorralización) en amplias zonas antes ocupadas por pastizales. |
| | (-): 3,57 | (-): 19,6 | Adelanto: 14,02 | |
| Repoblaciones | (+): 64,3 | (+): 6,95 | Retraso: 1,02 | Los aumentos en la estacionalidad podrían corresponder a labores de aclareo. |
| | (-): 5,8 | (-): 30,4 | Adelanto: 8,3 | |

En el gráfico espacio-temporal de anomalías, se observa que, en 2021, la productividad es mayor a la media, teniendo valores inferiores en las repoblaciones llevadas a cabo en el noreste del parque (Figura 102).

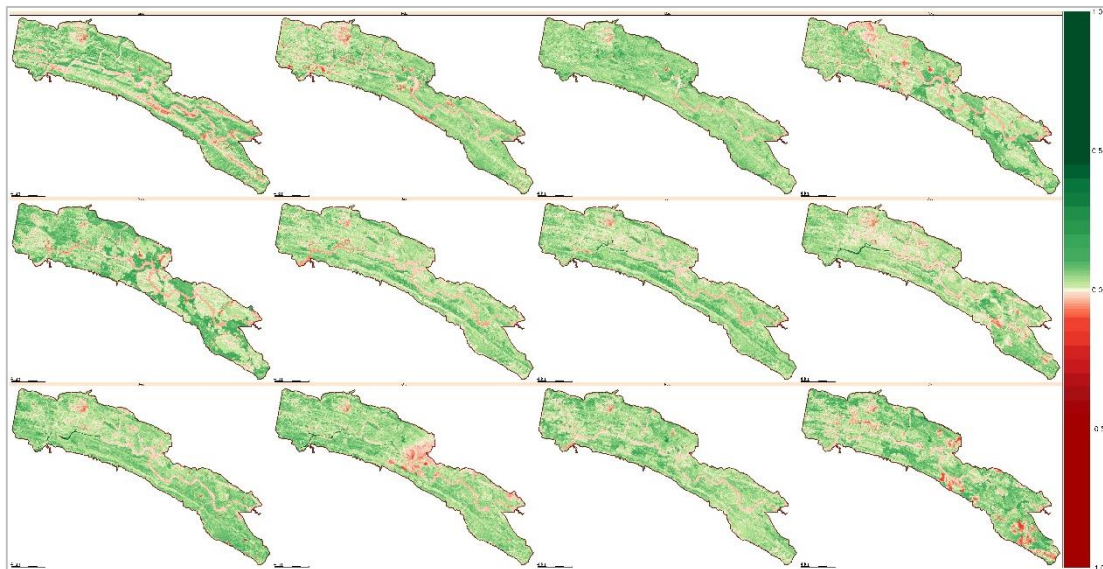


Figura 102. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

Las anomalías medias del año 2021 muestran que ha habido una mayor productividad en el parque respecto a la media del periodo histórico, excepto en las zonas de repoblaciones en el noreste (Figura 103).



Figura 103. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

La dinámica del verdor en 2021 ha sido, de mayor magnitud que la media histórica el periodo, siempre dentro del rango de desviación del periodo histórico (Figura 104).

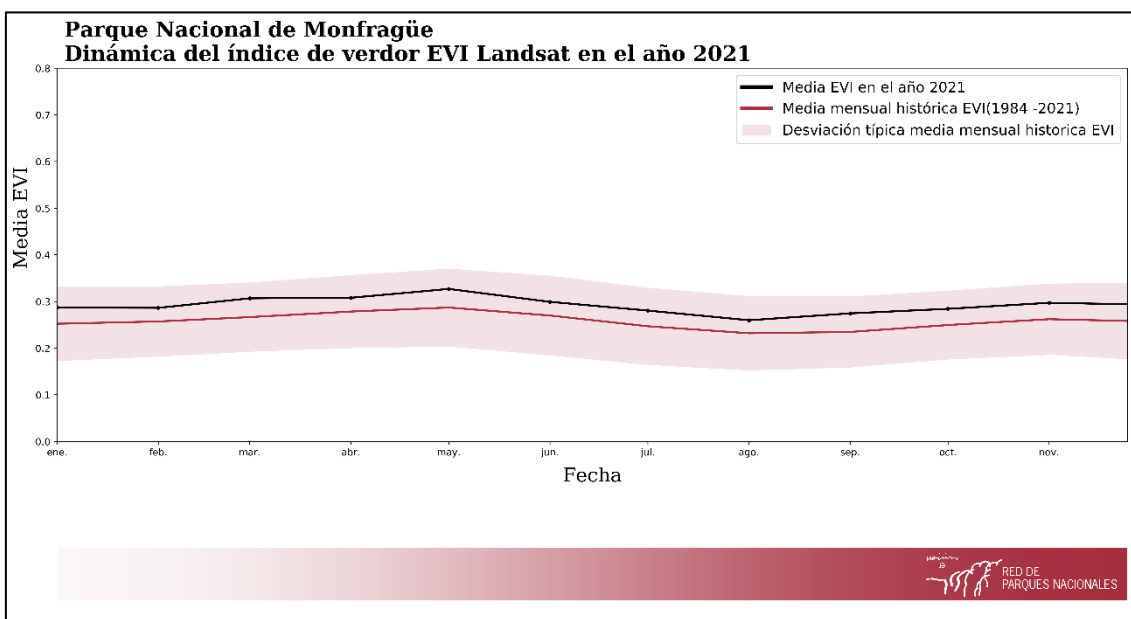


Figura 104. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

A nivel de sistema natural vegetal, el comportamiento es igual registrado en la extensión total del parque, donde en todos los casos se encuentran por encima de la media. Los sistemas naturales vegetales se encuentran muy cercanos a superar la varianza del periodo (Figura 105).

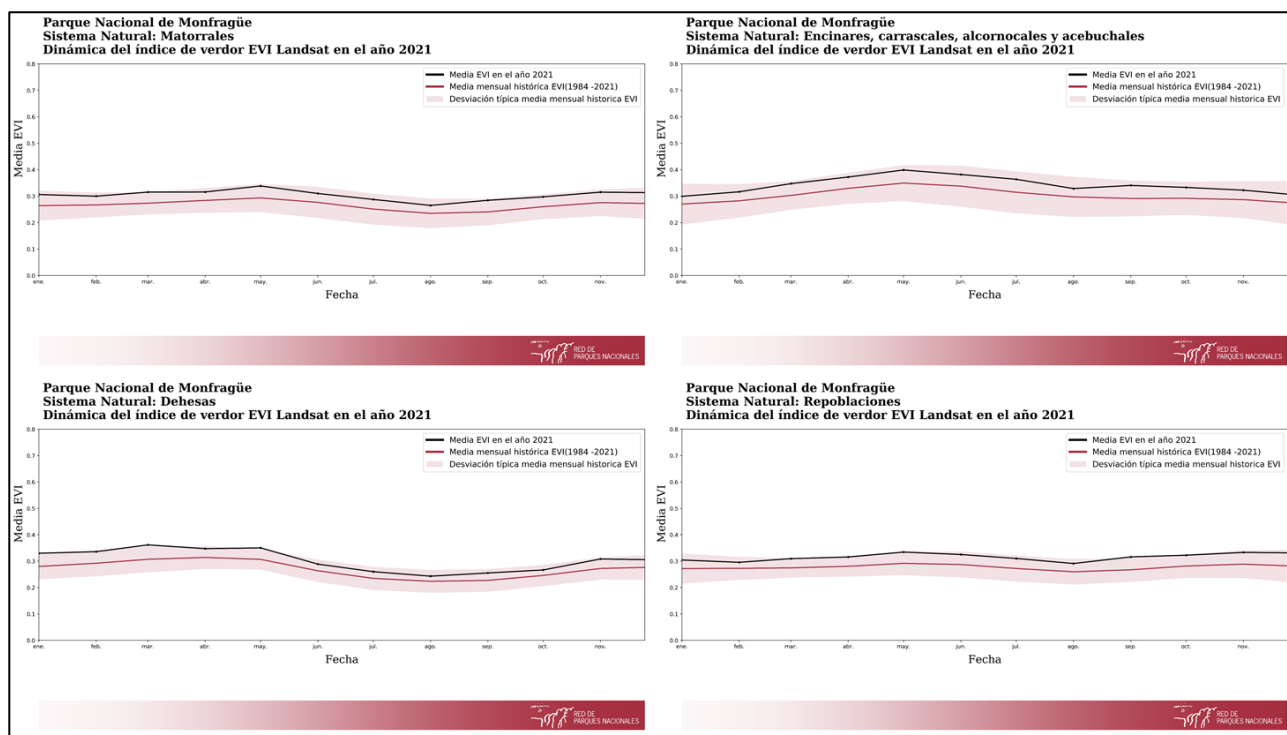


Figura 105. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.10. PARQUE NACIONAL DE ORDESA Y MONTE PERDIDO

En este parque, las zonas de mayor productividad se encuentran en los valles, poblados por ecosistemas de bosque. Conforme se incrementa la altitud, se reduce la productividad, debido al incremento gradual de los pastizales alpinos (Figura 106).

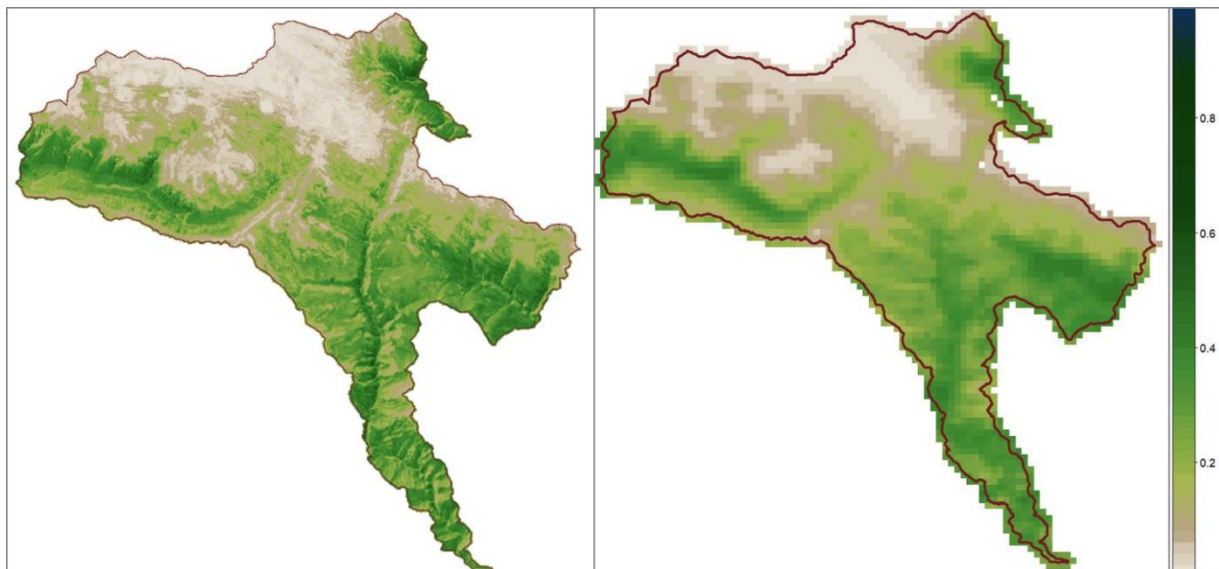


Figura 106. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

En cuanto a la dinámica del verdor, se aprecia que, en los meses de invierno y otoño, la productividad disminuye, mientras que se incrementa en primavera hasta alcanzar su máximo en verano (Figura 107).

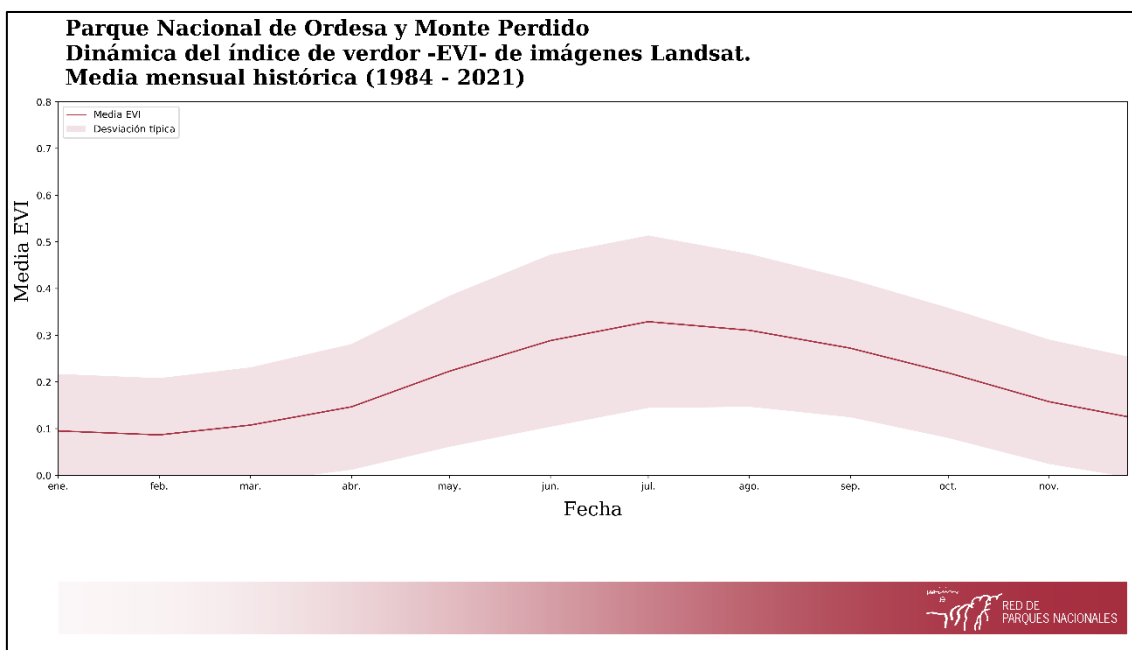


Figura 107. Media mensual histórica del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido (1984 - 2021).

Los principales sistemas naturales presentan tendencias en incremento, a excepción del sistema natural vegetal de bosques templados caducos en el caso del sensor MODIS.

Esto puede deberse al efecto de la distribución espacial que tiene el sistema natural vegetal, el cual ocupa poca superficie y muy fragmentada (Figura 108 y Figura 109). Tal y como se comentó en el apartado 3.3, en estos casos el sensor MODIS es menos potente.

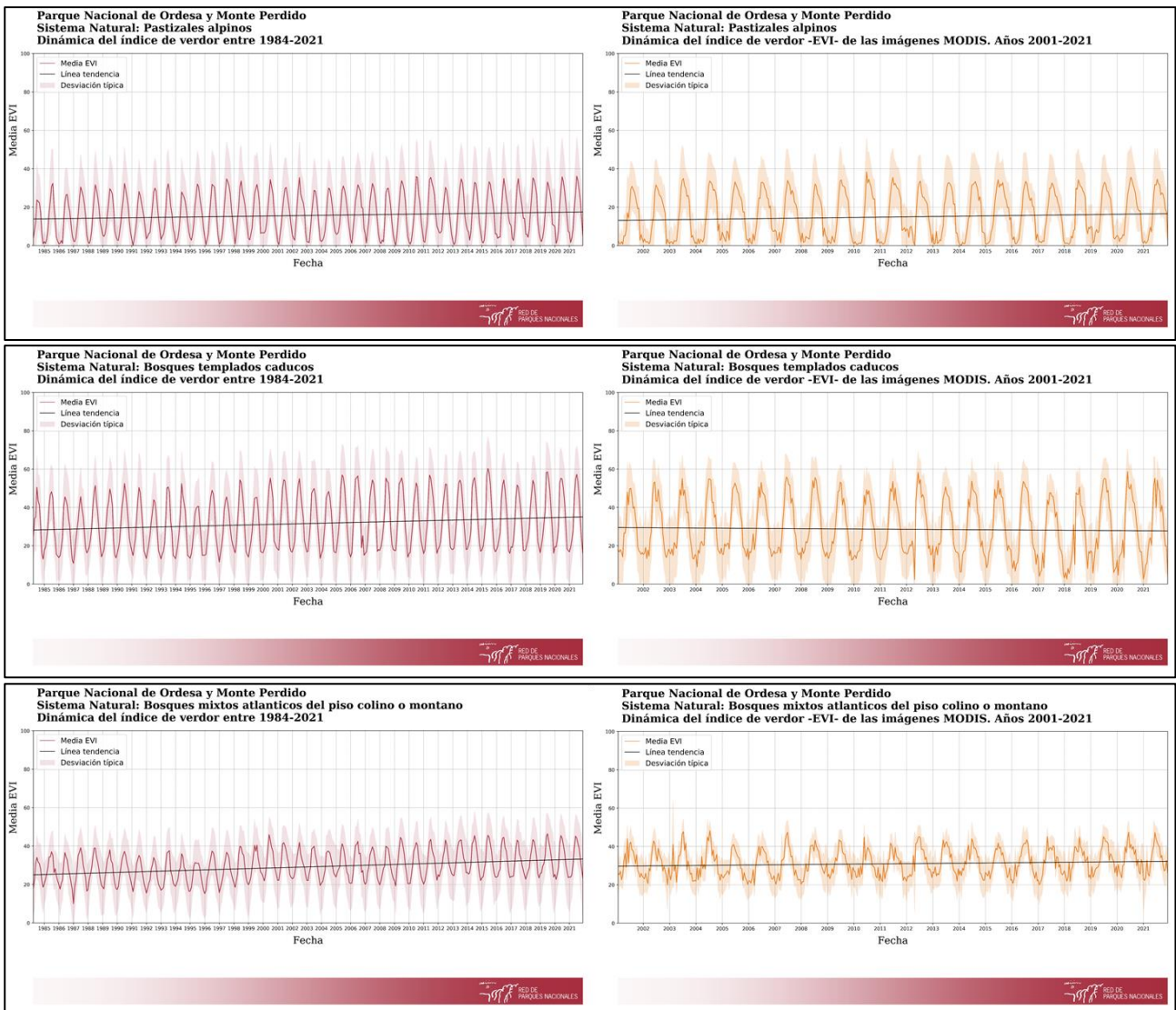


Figura 108. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

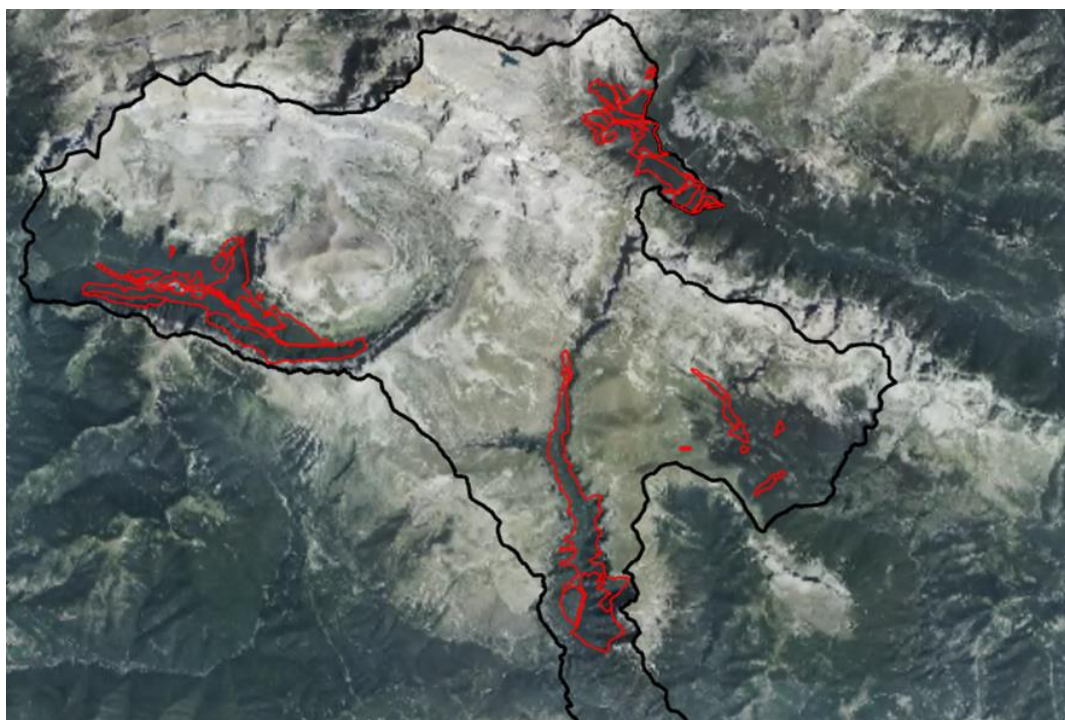
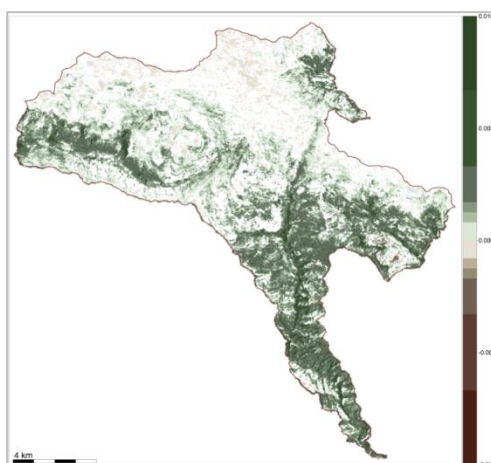


Figura 109. Área del sistema natural vegetal "Bosques templados caducos" del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

En cuanto a las tendencias en la productividad, las zonas de valle presentan un incremento, mientras que en las zonas de mayor altitud las tendencias son poco significativas.

Las tendencias en la estacionalidad son poco significativas en general, exceptuando el entorno del río Bellós, donde se pueden encontrar valores negativos en el curso del río y valores positivos en ecosistemas de bosque (Figura 110).



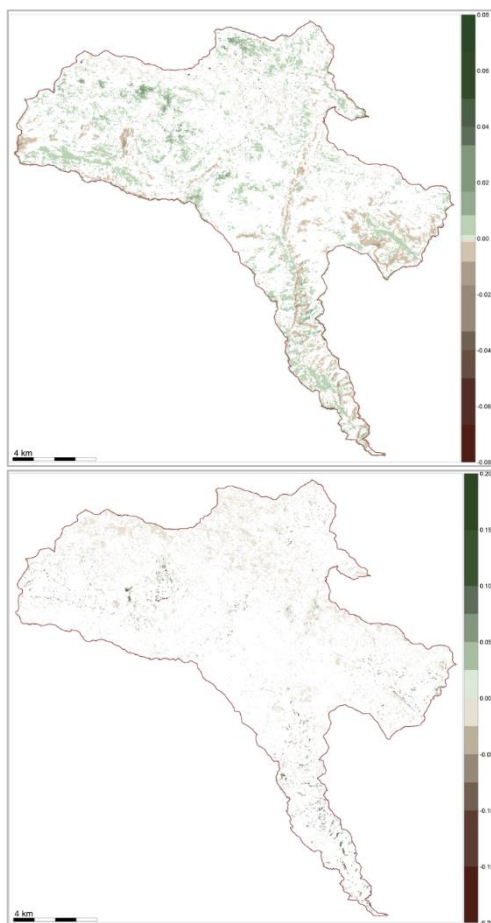


Figura 110. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 13).

Tabla 13. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---|--|----------------|---------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Bosques mixtos atlánticos del piso colino o montano | (+): 90,98 | (+): 15,95 | Retraso: 4,8 | Las tendencias positivas en PPN podrían deberse al aumento de la disponibilidad de agua fruto del deshielo. Este hecho, unido al incremento de temperaturas, favorecería al crecimiento del bosque y a un retraso en su fenología. |
| | (-): 0,29 | (-): 30,74 | Adelanto: 2,8 | |
| Bosques templados caducos | (+): 76,15 | (+): 26,47 | Retraso: 1,14 | Las tendencias negativas en PPN podrían explicarse debido a los efectos perjudiciales que tiene el aumento de temperaturas y la escasez de precipitaciones en los hayedos característicos de estas zonas |
| | (-): 0,53 | (-): 14,75 | Adelanto: 6,8 | |
| Pastizales alpinos | (+): 55,9 | (+): 14,89 | Retraso: 0,73 | Alteraciones en estacionalidad y fenología debidas, en parte, a la expansión de <i>Echinospartum horridum</i> , que forma manchas monoespecíficas de reducida diversidad |
| | (-): 2,3 | (-): 2,93 | Adelanto: 8,5 | |

Las anomalías en el verdor del año 2021 con respecto a la media, muestran que, a lo largo de este año, los valles han presentado valores superiores a la media establecida, mientras que, en las zonas de alta montaña, se registran valores inferiores a la media en los meses de invierno, mitad de la primavera y otoño, Por su parte en los meses de verano, los valores son superiores a la media (Figura 111).

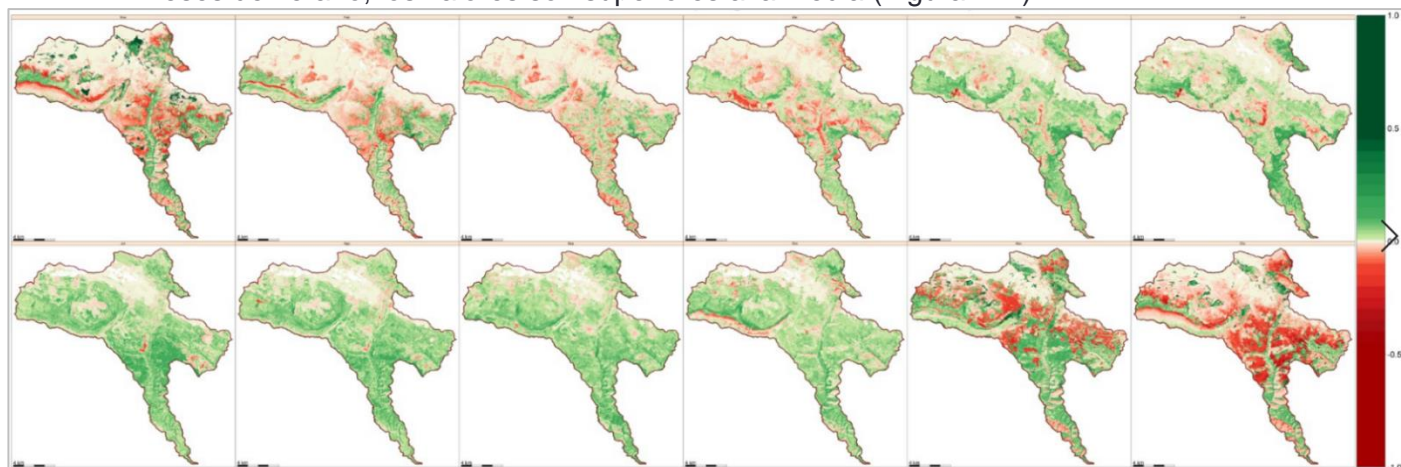


Figura 111. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).



En general, la productividad del parque se sitúa por encima de la media del periodo en el año 2021. Las zonas con valores inferiores se encuentran en zonas de pinar y hayedo en torno al río Arazas y en zonas de pastizal situados en el centro del parque (Figura 112).

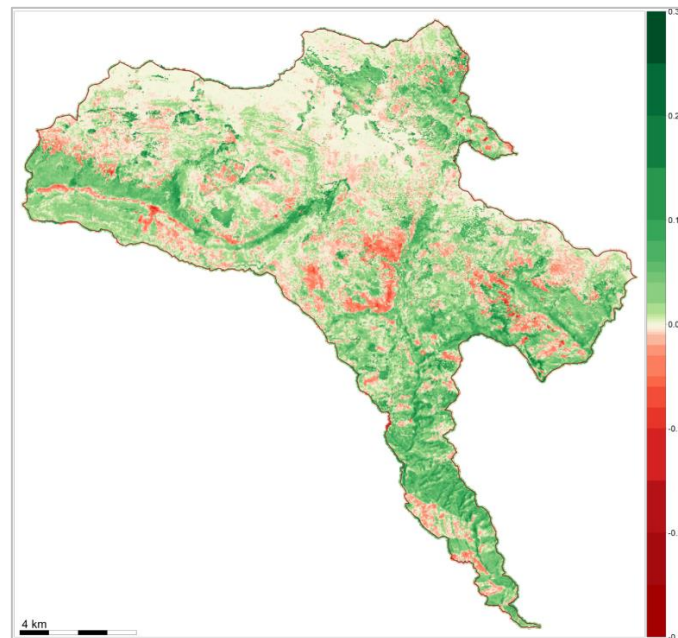


Figura 112. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

La Figura 113 muestra que, en invierno y la mitad de la primavera, el parque presenta una productividad similar a la media del periodo, mientras que en el verano y otoño se sitúa levemente por encima, aunque dentro del rango de desviación histórica de la media.

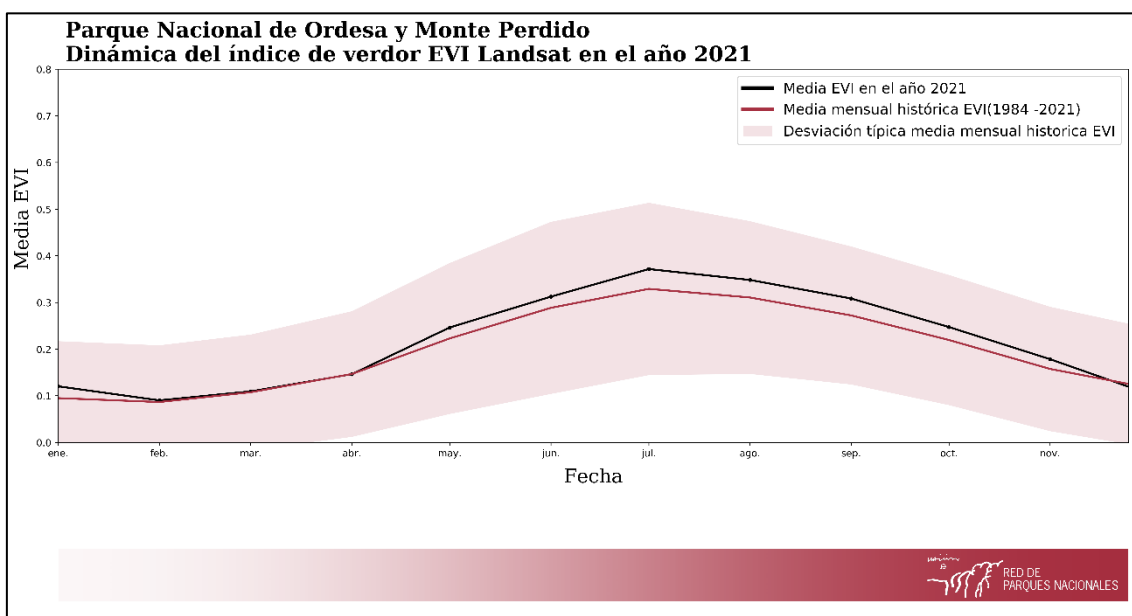


Figura 113. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.



Este comportamiento se repite en los principales sistemas naturales que conforman al parque (Figura 114).

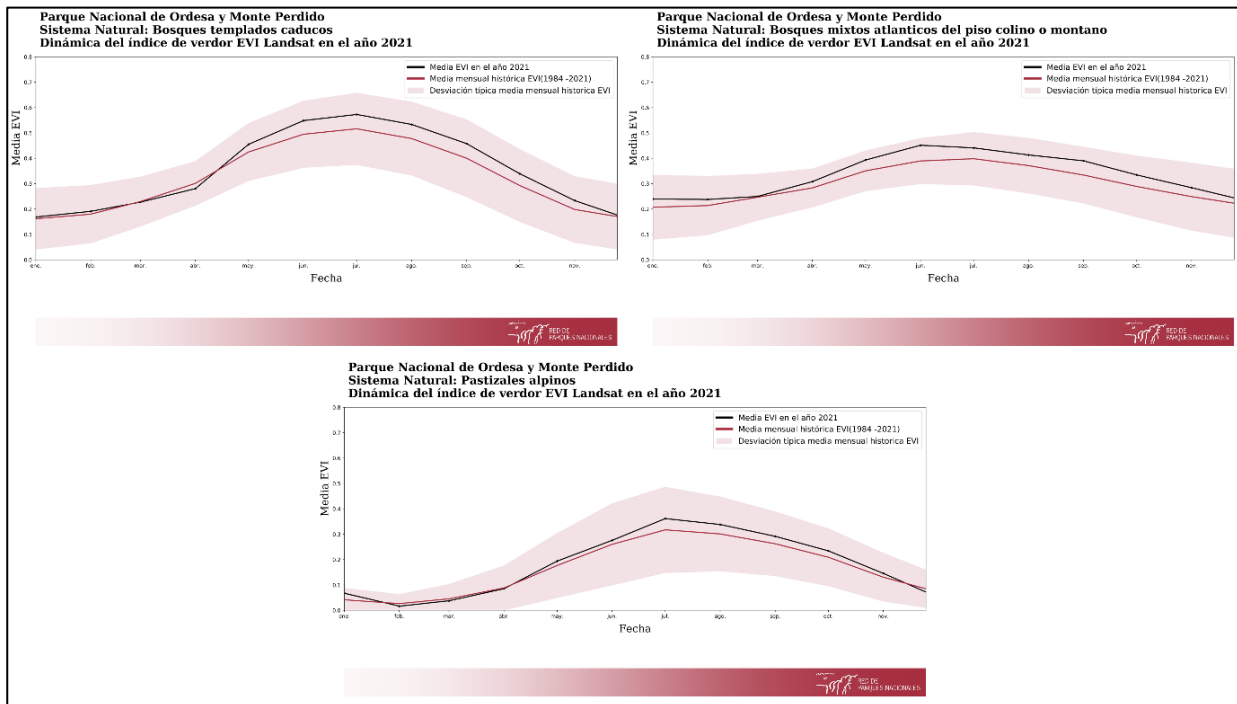


Figura 114. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.11. PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Este parque presenta valores altos de productividad en las zonas de menor altitud, donde se encuentran ecosistemas forestales y de matorral. Las zonas de mayor altitud, donde la vegetación es escasa, presentan una productividad menor (Figura 115).

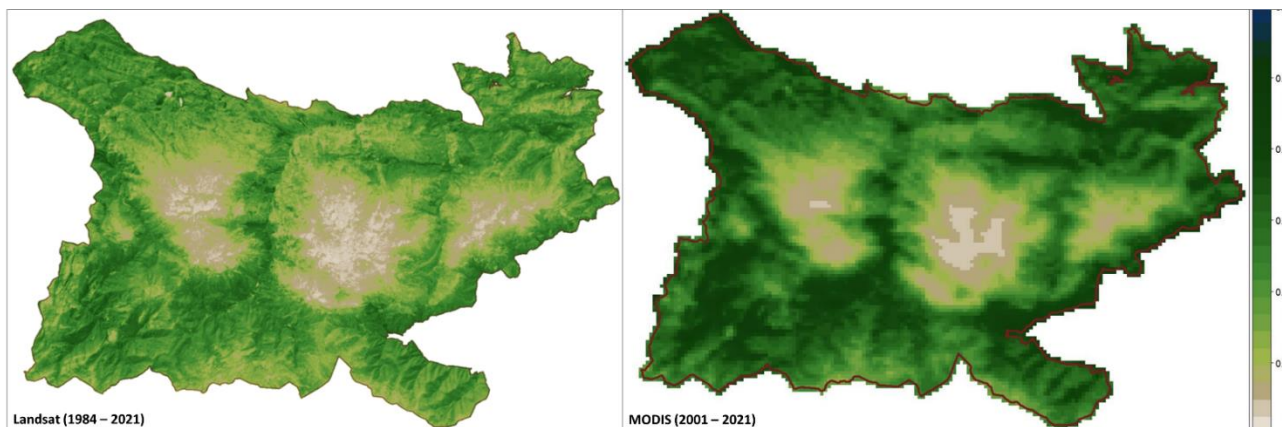


Figura 115. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS).

La dinámica del índice de verdor indica que es en verano donde se alcanza la máxima productividad en el parque, mientras que en otoño e invierno se reduce (Figura 116).

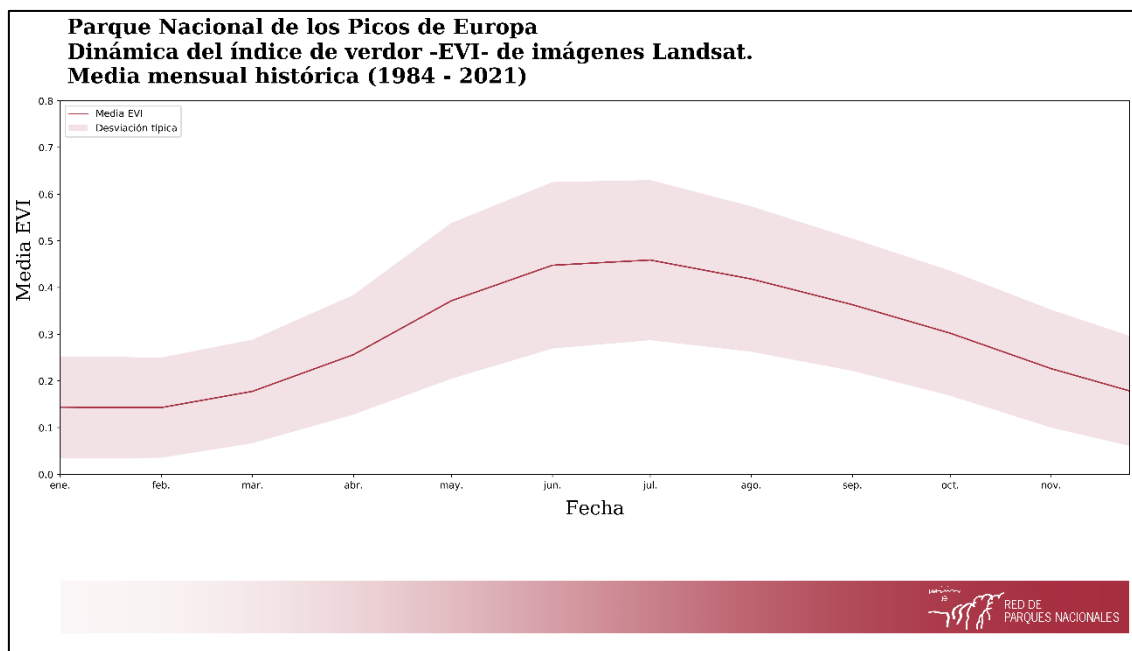
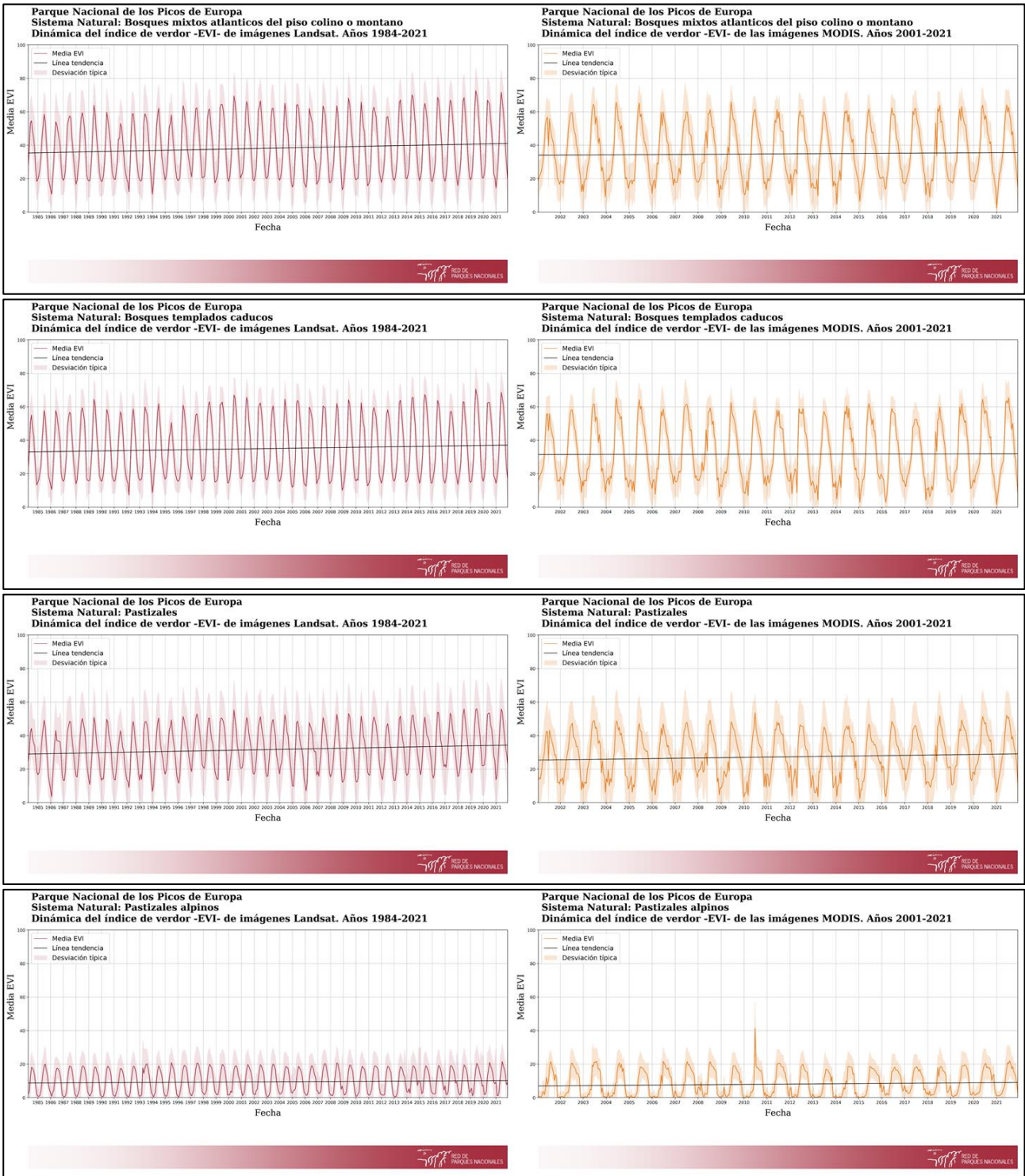


Figura 116. Media mensual histórica del Parque Nacional de Picos de Europa (1984 - 2021).

En cuanto a la evolución de la productividad de los principales sistemas naturales vegetales del parque, se aprecia una la tendencia estable (Figura 117).



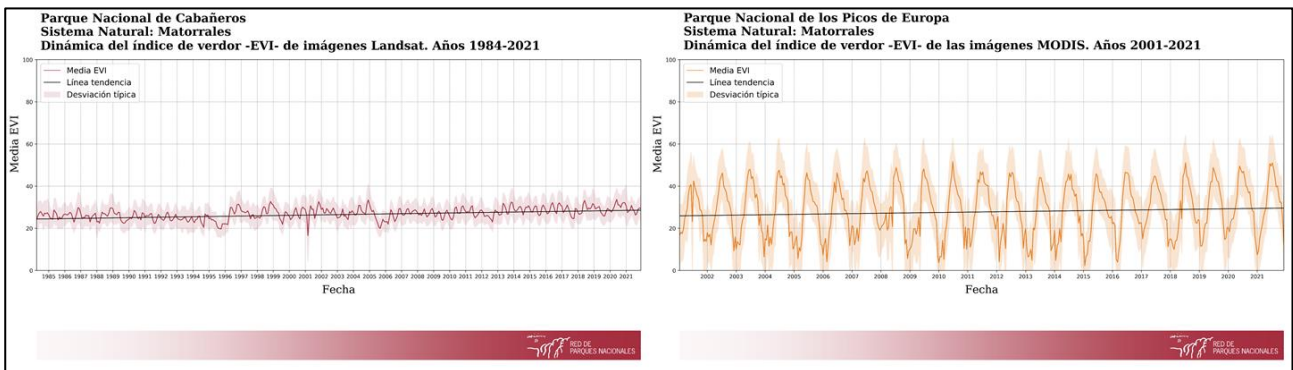
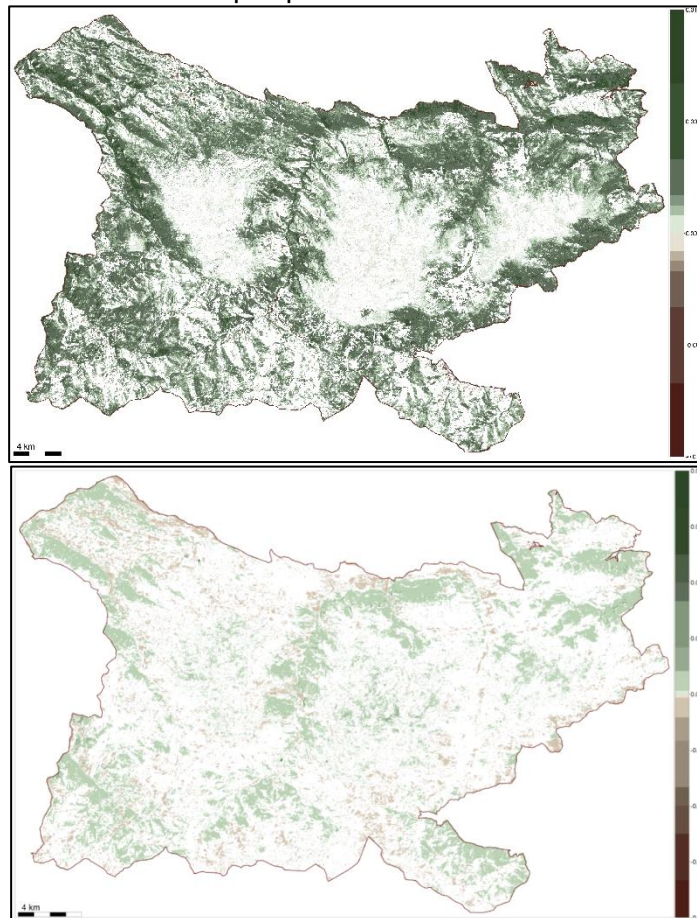


Figura 117. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

En las tendencias en la productividad, se aprecia que están influenciadas por la orientación, aumentando la productividad en las áreas de solana, mientras que en las zonas de umbría y de alta montaña, donde predominan ecosistemas de pastos, son poco significativas (Figura 118).

En cuanto las tendencias en la estacionalidad, los tres macizos presentan tendencias no significativas, debido a que son zonas que están cubiertas de nieve en invierno, mientras que en el resto del parque tiende a incrementar la estacionalidad.



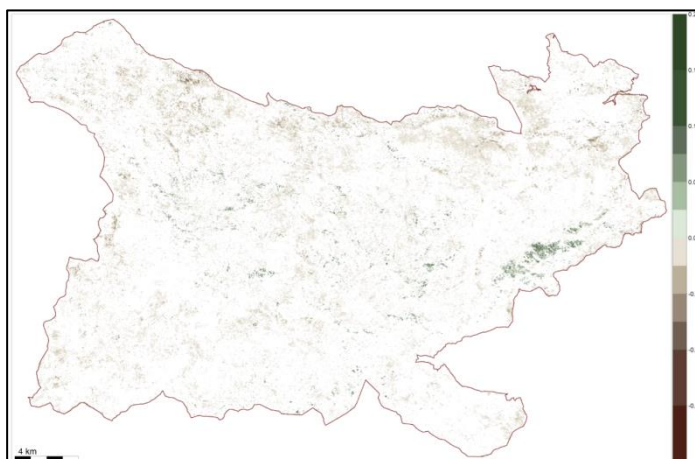


Figura 118. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 14).

Tabla 14. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Picos de Europa.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---------------------------|--|------------------------|----------------------------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Bosques mixtos atlánticos | (+): 69,3 (-): 5,2 | (+): 5,4 (-): 54,1 | Retraso: 0,08 Adelanto: 17 | Se observa un aumento de las temperaturas mínimas en invierno, así como descenso en el número de días con temperaturas por debajo de los 0º grados, lo que podría estar favoreciendo hasta ahora el crecimiento del bosque. La reducción de las precipitaciones invernales, da lugar a alteraciones de los sistemas hídricos, así como a la progresiva desaparición de reservorios de hielo fósil (Robledano, 2015), lo que hasta momento puede estar suponiendo un mayor aporte de agua de escorrentía a los bosques. |
| Bosques templados caducos | (+): 58,10 (-): 3,6 | (+): 39,69 (-): 2,5 | Retraso: 0,02 Adelanto: 13 | Las áreas con tendencias negativas en la PPN pueden corresponder a hayedos. Las predicciones sobre el impacto del cambio climático en la distribución potencial de la haya en la Cordillera Cantábrica sugieren que habrá una drástica reducción del área de hábitat adecuado para la especie (Rubio-Cuadrado et al., 2018). Diversos autores han indicado una reducción en el hábitat de los hayedos en la cordillera Cantábrica como consecuencia del aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones (cambios latitudinales y altitudinales) (e.g. Dyderski et al., 2017; Castaño-Santamaría et al. 2019). |
| Matorrales | (+): 72,0 (-): 3,5 | (+): 10,86 (-): 9,5 | Retraso: 1,3 Adelanto: 14,0 | La expansión de la cultura ganadera tradicional y la quema recurrente de laderas para pastos ha favorecido la matorralización de este parque, en particular, la expansión de los brezales (<i>Erica australis</i>) que se han visto beneficiados por las situaciones de gran pobreza edáfica. La reducción de las precipitaciones invernales, da lugar a alteraciones de los sistemas hídricos, así como a la progresiva desaparición de reservorios de hielo fósil (Robledano, 2015), lo que hasta momento puede estar suponiendo un mayor aporte de agua de escorrentía a los matorrales de las zonas altas. Cambios de uso del suelo (García-Llamas et al. 2019) y matorralización progresiva de los pastizales (Robledano, 2015). |
| Pastizales | (+): 63,28 (-): 3,8 | (+): 13,58 (-): 9,7 | Retraso: 1,34 Adelanto: 16,64 | Estas formaciones herbáceas presentan un ciclo de producción dependiente de la altitud a la que se sitúan, permitiendo así una explotación pastoril temporalmente escalonada. |

En cuanto a las anomalías en el verdor del año 2021 respecto a la media del periodo histórico, en los meses de invierno, los ecosistemas forestales situados alrededor de los macizos tienen menos productividad, mientras que en los meses de primavera y verano se incrementa la productividad en todo el parque, exceptuando en los macizos, que se mantiene estable (Figura 119).

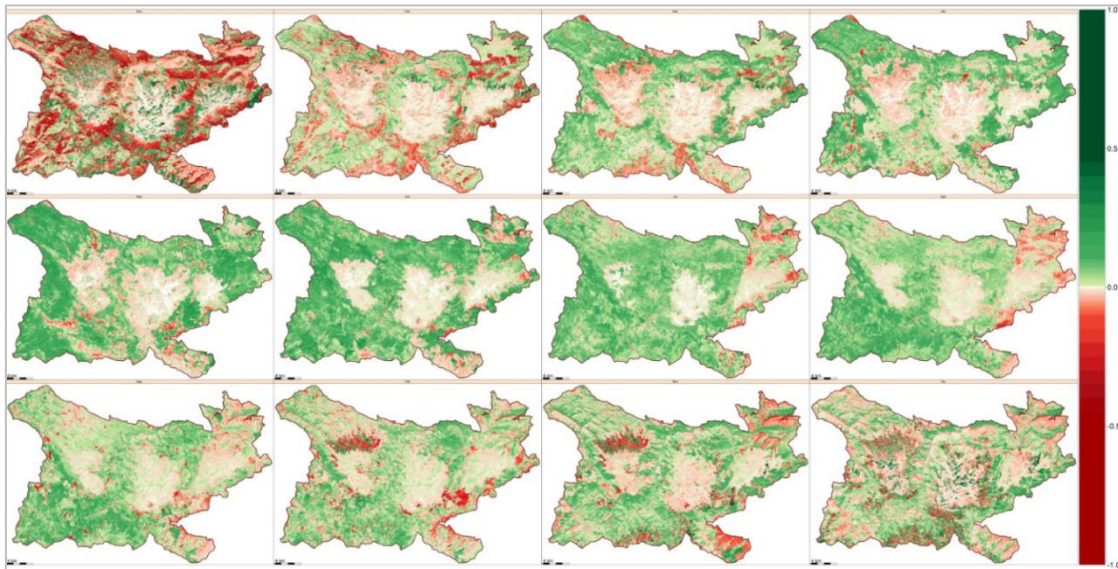


Figura 119. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

Las anomalías medias en el año 2021 con respecto a la media indican un incremento de la productividad en el parque, a excepción de los macizos, donde se pueden apreciar una ligera disminución de la productividad (Figura 120).

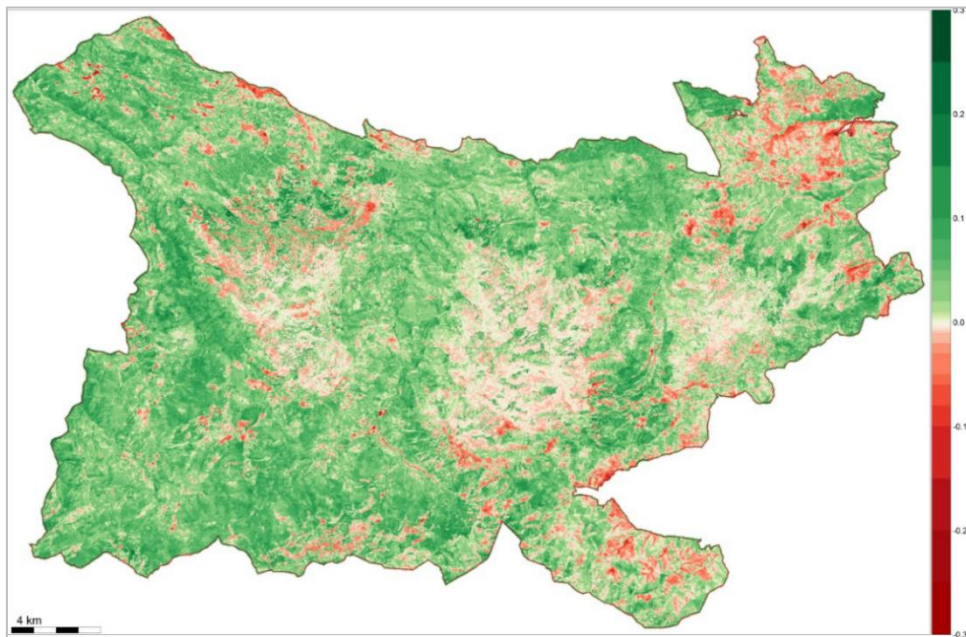


Figura 120. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021).

La dinámica del verdor en el año 2021, presenta valores por encima de la media todo el año excepto en enero y febrero. En los meses de primavera, verano y otoño la productividad se encuentra por encima de la media, aunque dentro del rango de desviación histórico en todos los casos (Figura 121).

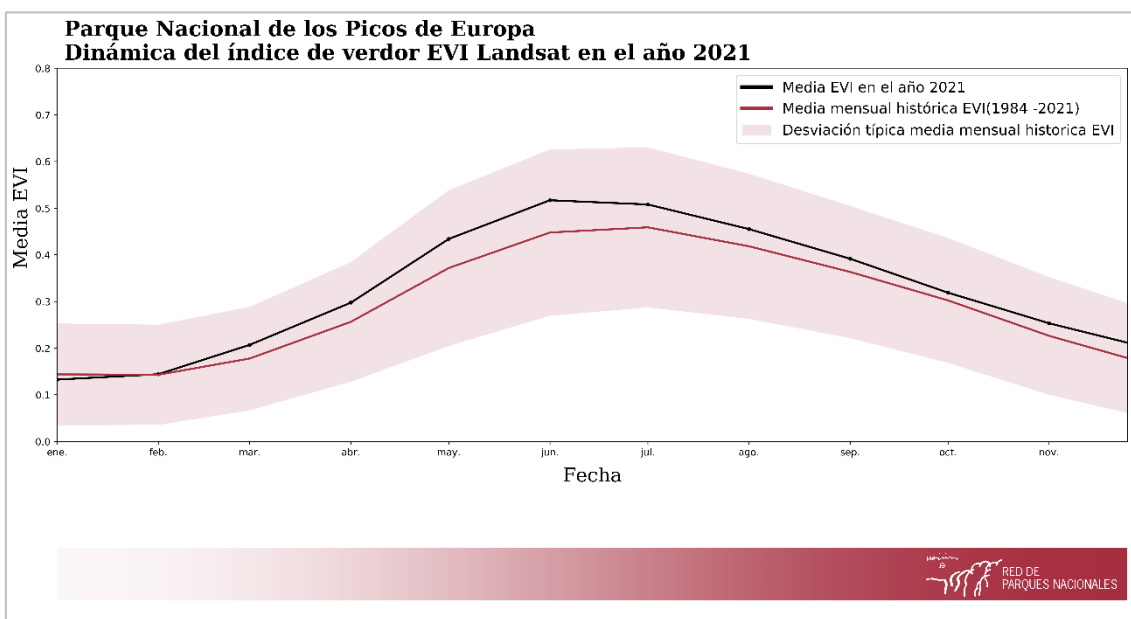


Figura 121. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

Los sistemas naturales principales repiten el patrón explicado anteriormente. En el caso de los sistemas naturales de bosques templados caducos y los bosques mixtos atlánticos del piso colino o montano, la productividad en los meses de mediados de primavera y principio del verano se encuentran cercanos a superar la desviación de la media (Figura 122).

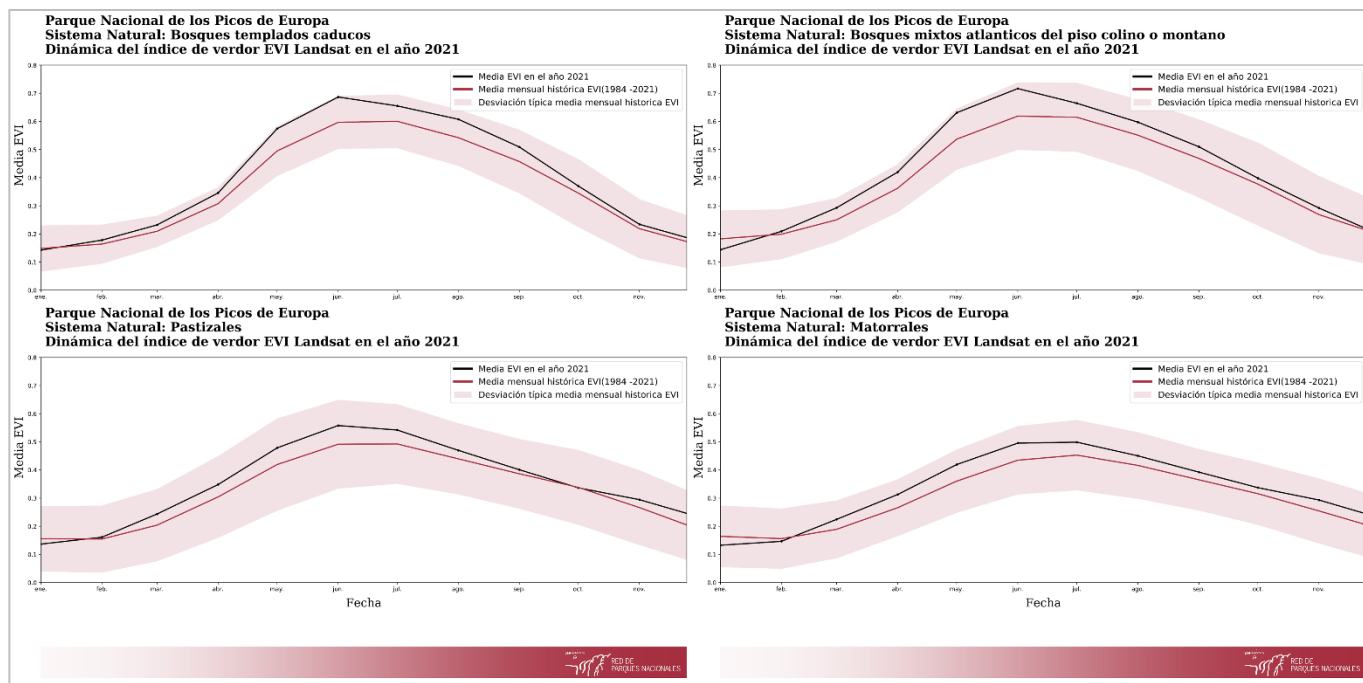


Figura 122. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.12. PARQUE NACIONAL DE SIERRA DE LAS NIEVES

El Parque Nacional de Sierra de las Nieves muestra su máxima productividad en los ecosistemas de matorral y coníferas. En las zonas de mayor altitud, donde se encuentran los pastizales, la productividad es menor (Figura 123).

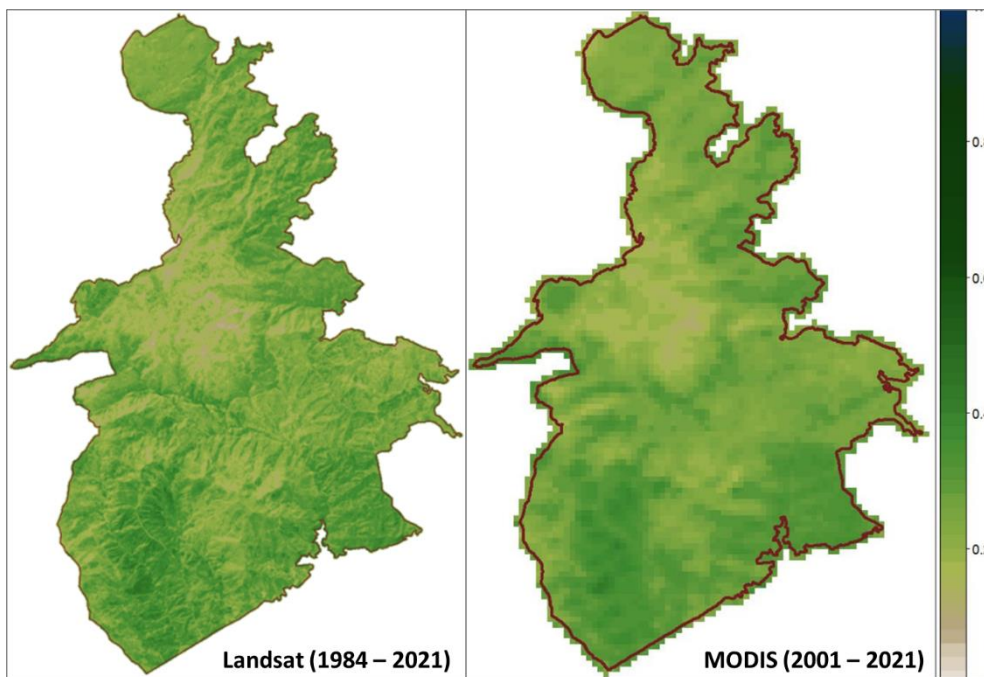


Figura 123. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS)

Tal y como se aprecia en la dinámica del índice de verdor –EVI-, la productividad a lo largo del año es bastante estable, incrementándose levemente en la primavera, para luego descender en el verano (Figura 124).

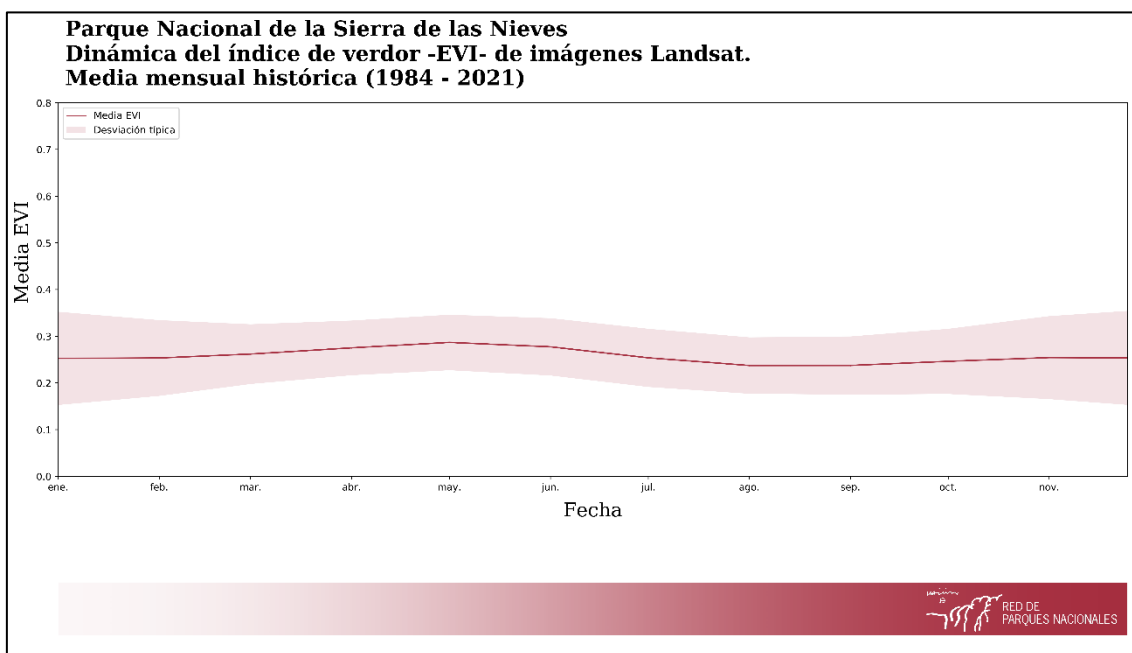


Figura 124. Media mensual histórica del Parque Nacional de Sierra de las Nieves (1984 - 2021).

Los principales sistemas naturales vegetales que conforman el parque muestran una tendencia ligeramente creciente a lo largo del periodo histórico (Figura 125).

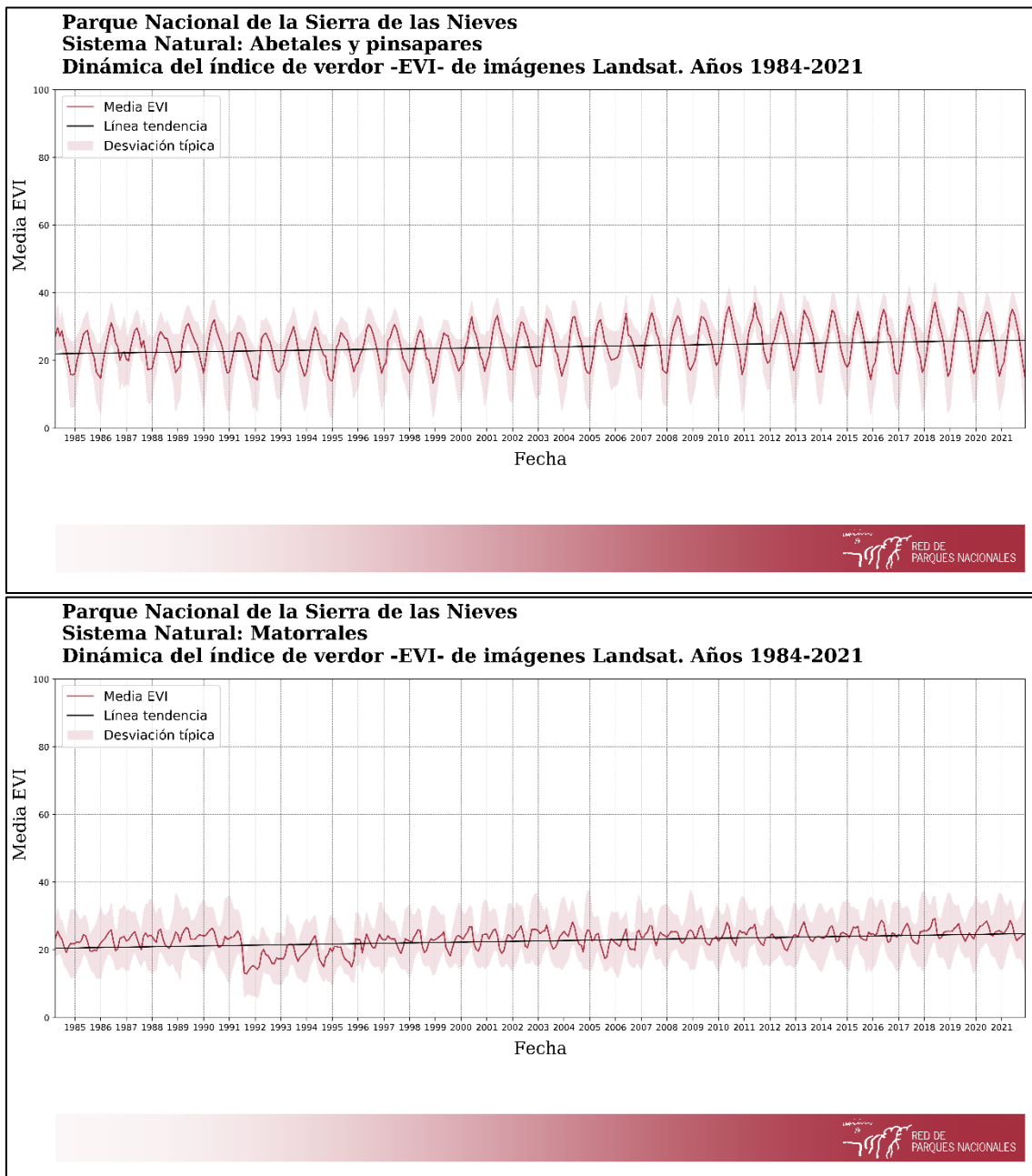
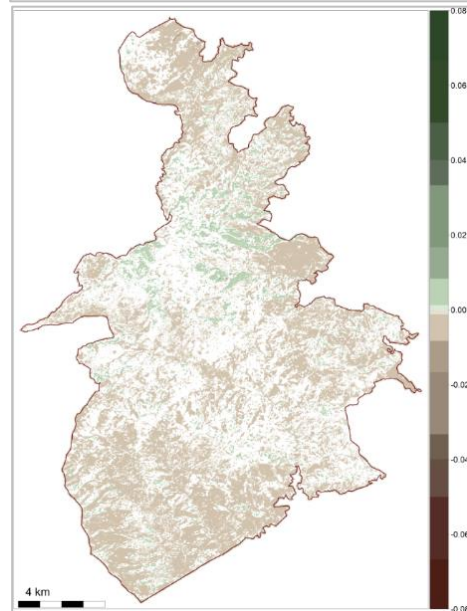
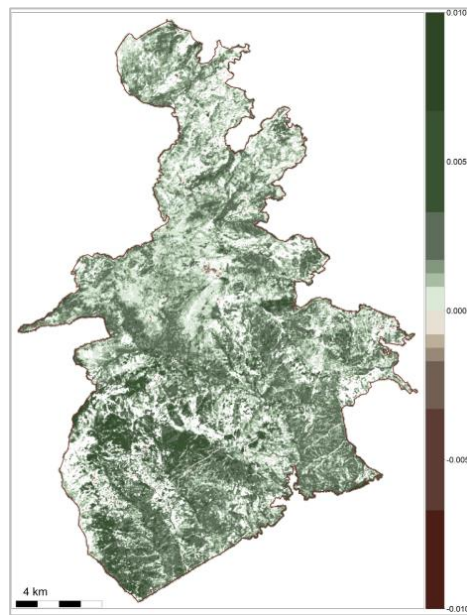


Figura 125. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021)

En cuanto a las tendencias del parque, las regiones en las que se encuentra vegetación arbórea, la tendencia de la productividad se incrementa, mientras que la tendencia de la estacionalidad disminuye. Por contra, en zonas de mayor altitud donde se encuentran los pastizales, las tendencias en cuanto a la productividad son poco significativas, mientras que la estacionalidad aumenta (Figura 126).

Informe de resultados de estado, tendencias y anomalías de la productividad primaria en la Red de Parques Nacionales. - 2021



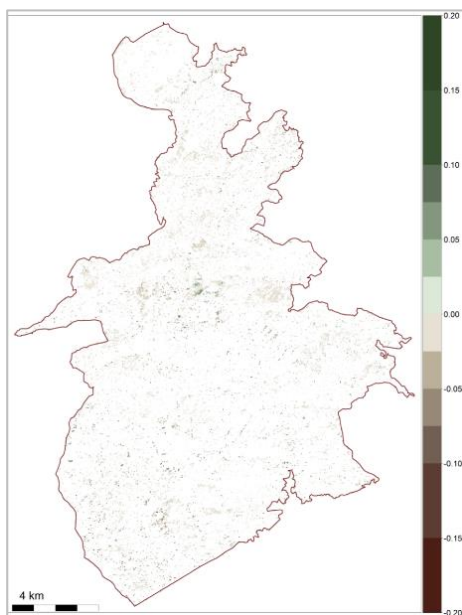


Figura 126. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En cuanto a las anomalías de la productividad del año 2021 respecto a la media del periodo histórico, los meses de otoño e invierno presentan valores inferiores a la media en las zonas de mayor altitud, mientras que las coníferas, encinares y matorrales, en su mayoría, muestran un incremento de la producción primaria con respecto a la media (Figura 127).

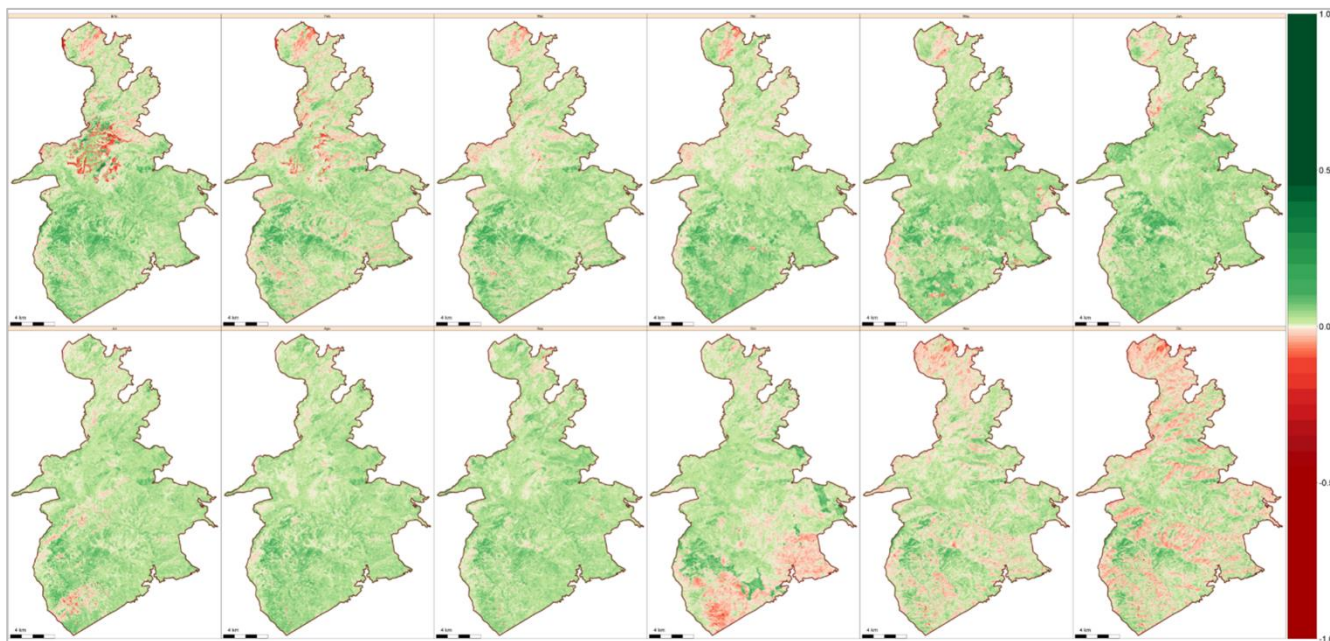


Figura 127. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

Las anomalías medias del año 2021 respecto a la media del periodo, muestra un incremento en toda la extensión del parque a excepción de zonas formadas por pastizales en la zona norte (Figura 128).

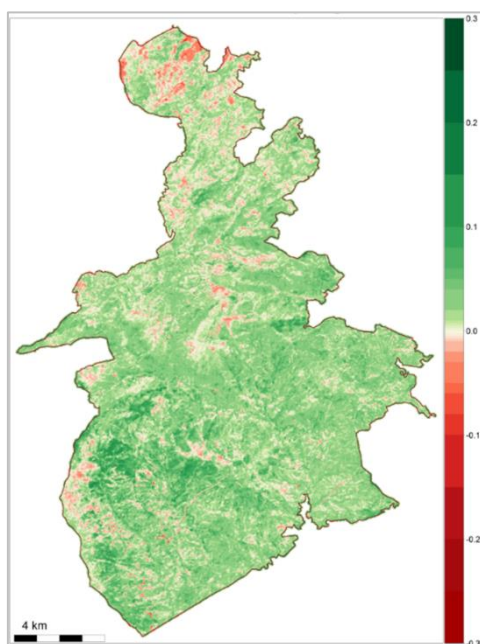


Figura 128. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021)

La dinámica del verdor en el año 2021, presenta valores por encima de la media todo el año, pero se aproxima a la media gradualmente durante los últimos tres meses del año (Figura 129).

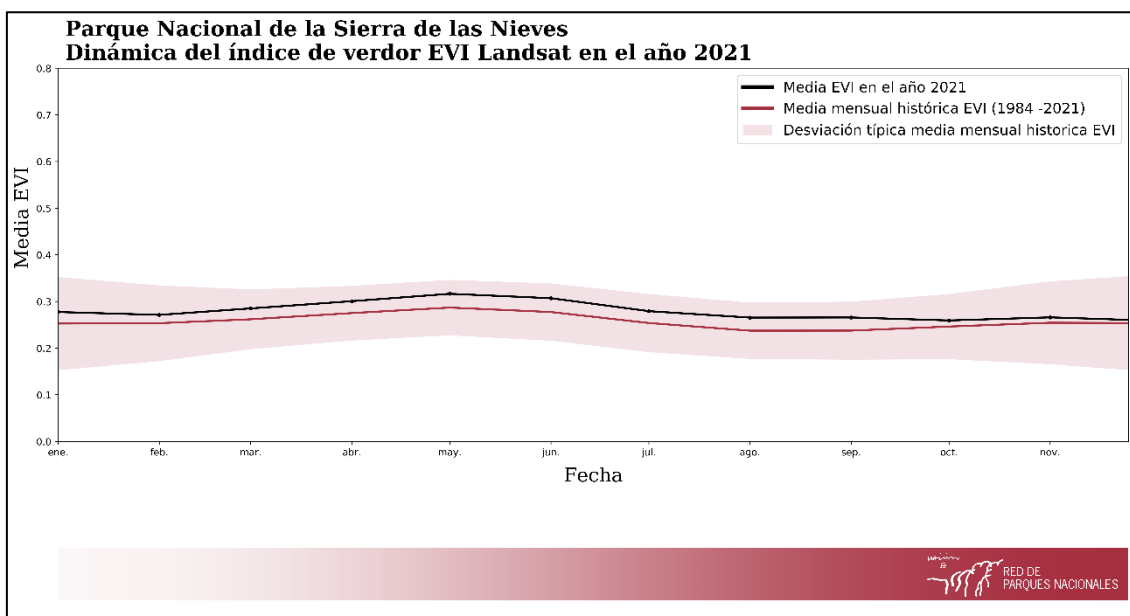


Figura 129. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

El sistema natural de matorral arbolado muestra un comportamiento similar al global de parque, mientras que el sistema natural abetal, aunque también presenta una productividad en el año 2021 similar a la media del parque, refleja un incremento de la productividad en el verano (Figura 130).

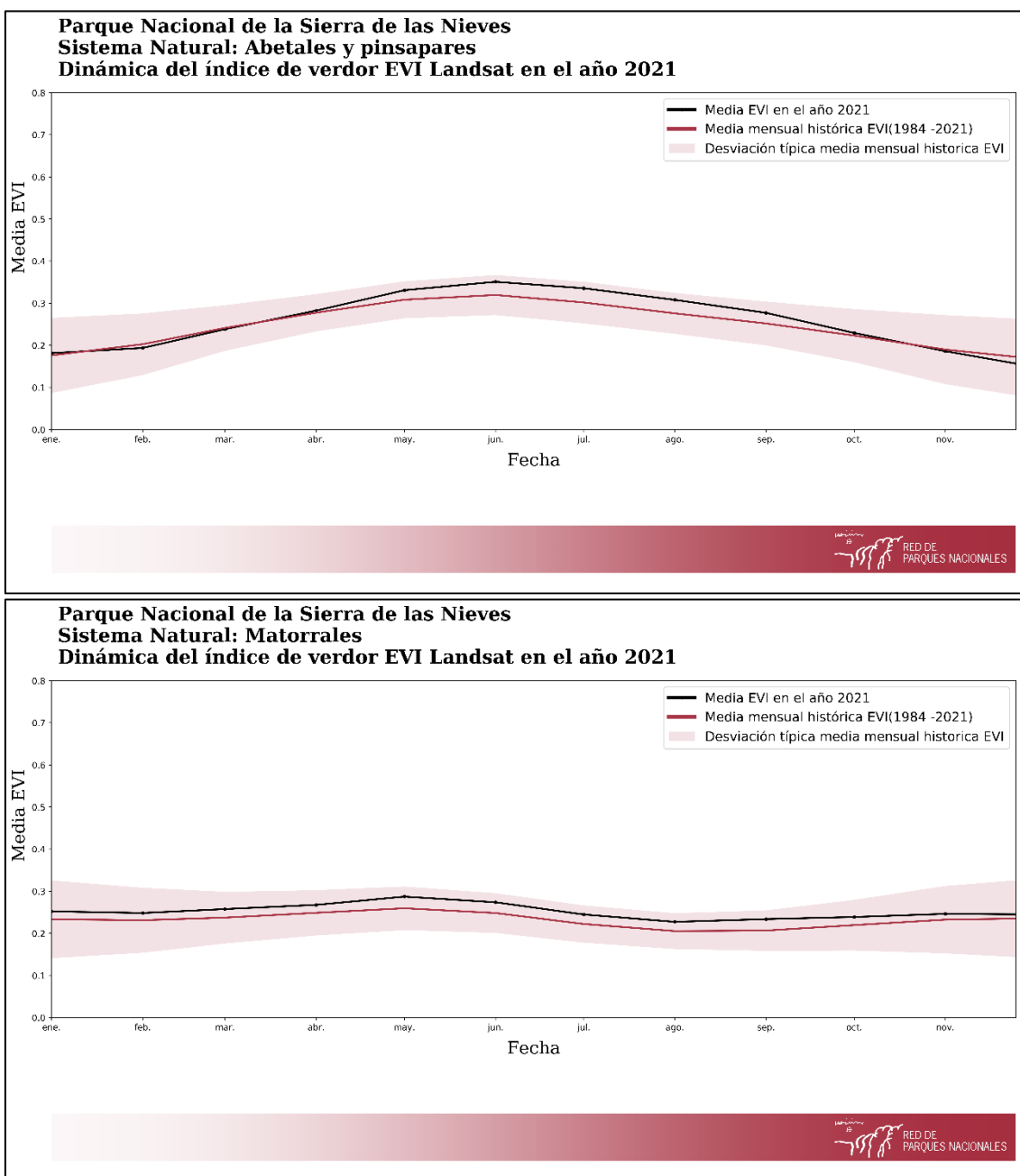


Figura 130. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) los principales sistemas naturales vegetales.

4.13. PARQUE NACIONAL DE SIERRA NEVADA

Este parque presenta la mayor productividad en las laderas ocupadas por pinares y encinares, tanto en el norte como en el sur, mientras que ésta se reduce en zonas de mayor altitud con pastizales y en cotas medias con presencia de matorral (Figura 131).

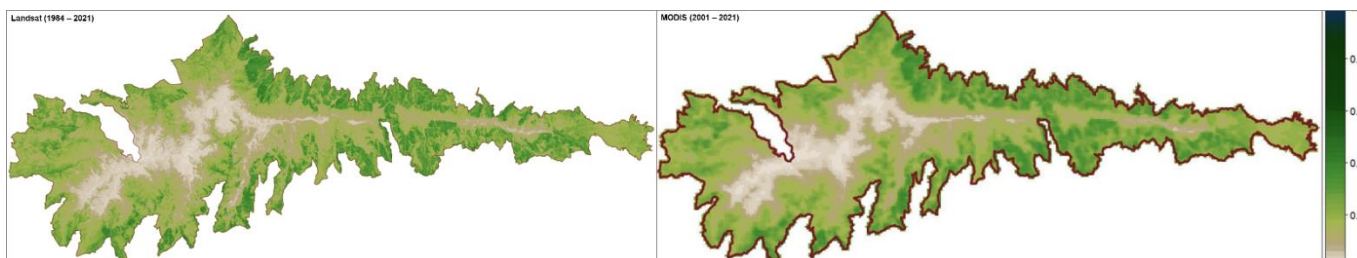


Figura 131. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS).

La dinámica de la producción primaria neta muestra como los valores se incrementan en primavera, alcanzando sus máximos al principio del verano, para después disminuir gradualmente y alcanzar los valores mínimos a finales del otoño y principios de invierno (Figura 132).

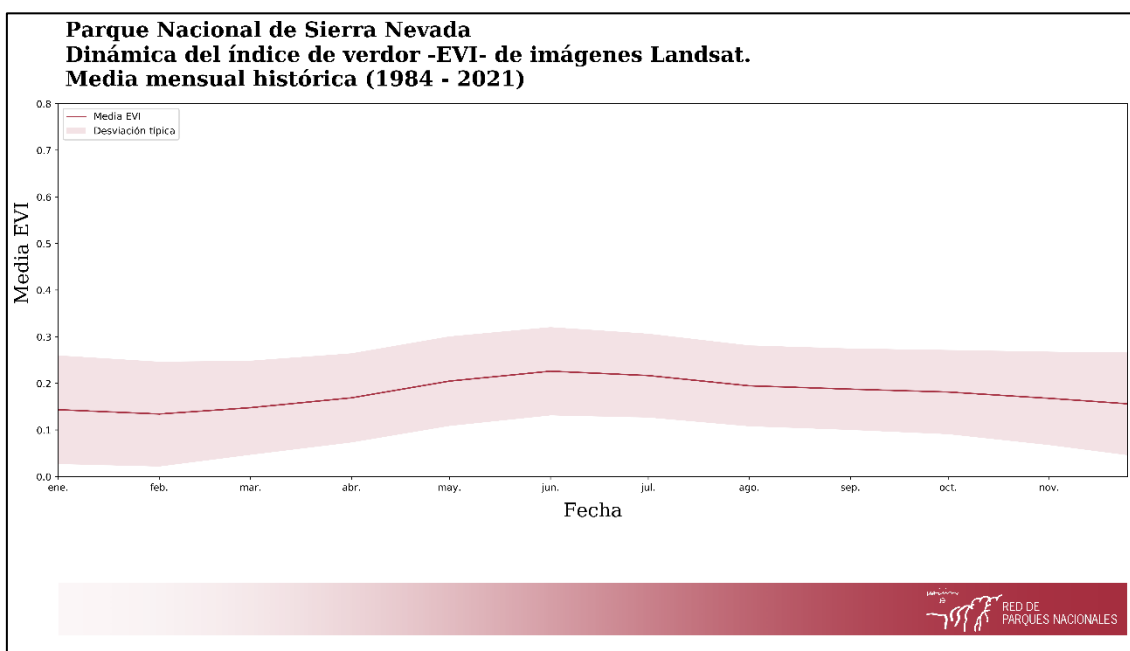


Figura 132. Media mensual histórica del Parque Nacional de Sierra de las Nieves (1984 - 2021).

Los principales sistemas naturales vegetales muestran una tendencia estable a lo largo del tiempo, observando una tendencia ligeramente ascendente en el caso de los pinares (Figura 133).

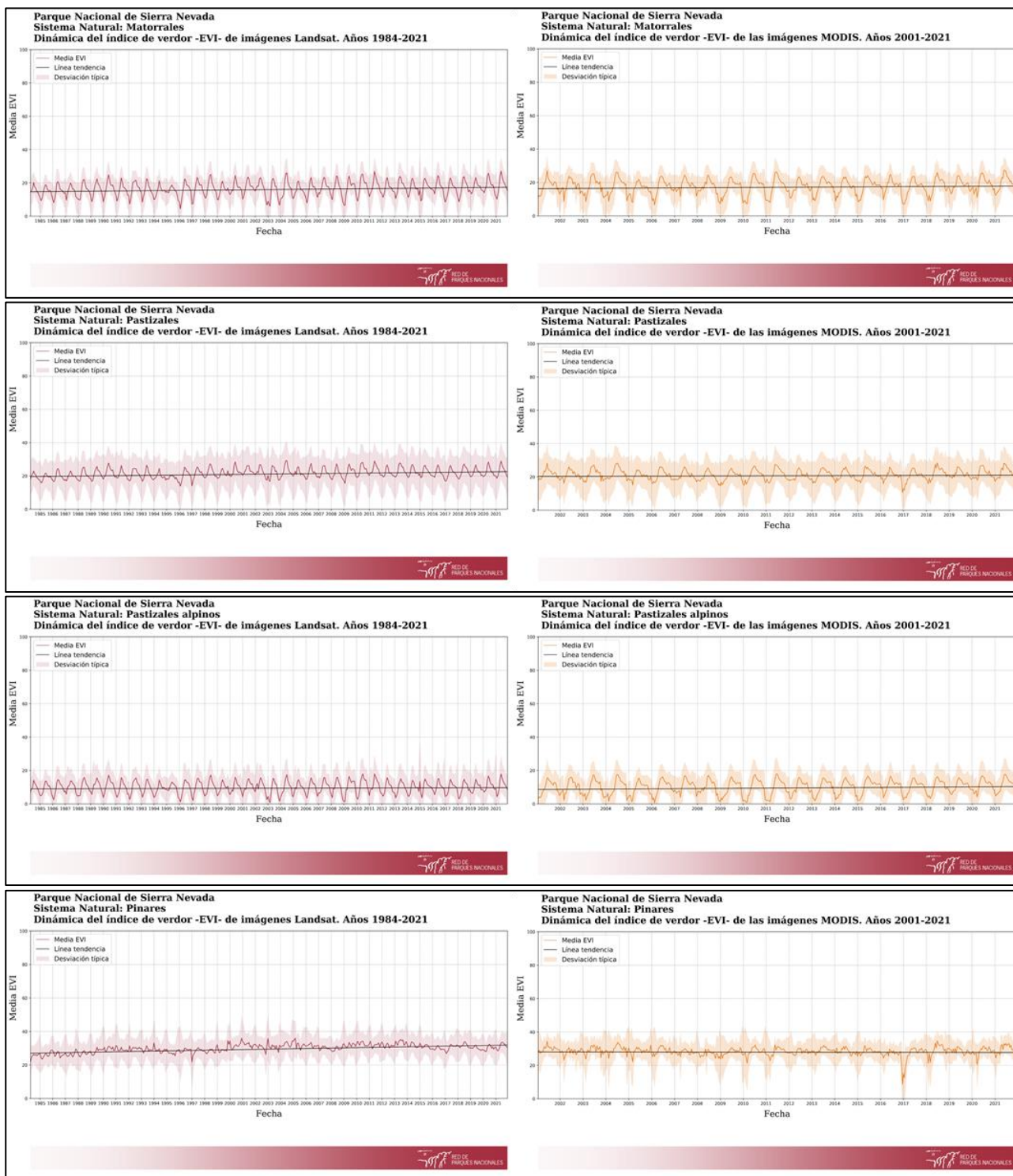


Figura 133. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

En cuanto a la tendencia en la productividad (Figura 134), se aprecia que en las zonas de coníferas se incrementa, mientras que, en las zonas de mayor altitud, donde se encuentran los pastizales y matorrales de alta montaña, se pueden encontrar tendencias de productividad decrecientes.



En cuanto a la tendencia en la estacionalidad, ésta disminuye en las zonas de pinares, mientras que se incrementa en las zonas de alta montaña. La tendencia en la fenología presenta valores poco significativos.

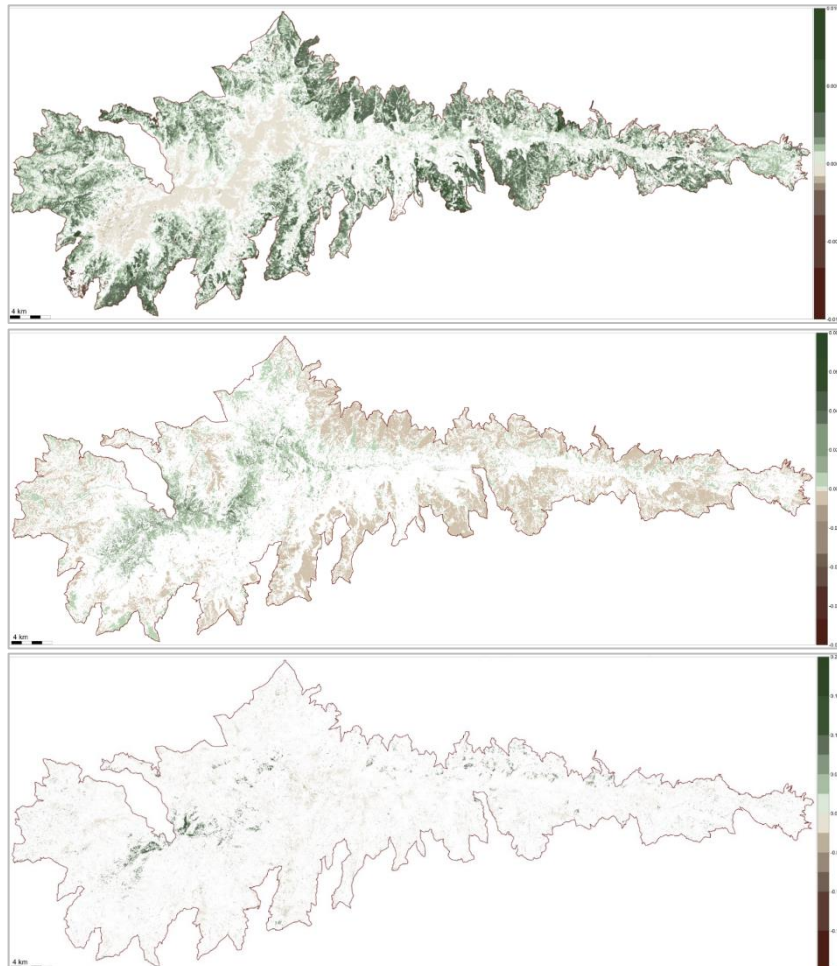


Figura 134. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 15).

Tabla 15. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Sierra Nevada.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|--------------------|--|----------------|---------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Matorrales | (+): 27,5 | (+): 14,1 | Retraso: 7,6 | Las labores de claro del bosque y las reforestaciones aumentan la cobertura de matorral que, a su vez, favorecen la dispersión de otras especies. Ejemplo de ello es que estos claros cubiertos por matorral son entornos inadecuados para la pupación de las larvas de la procesionaria, que afecta gravemente a los pinares (Zamora et al, 2015). |
| | (-): 14,1 | (-): 14,8 | Adelanto: 0,4 | |
| Pastizales | (+): 25,5 | (+): 26,6 | Retraso: 9,2 | La nitrificación provocada por el sobrepastoreo ha alterado este sistema, pues ha propiciado el establecimiento de especies más agresivas que compiten ventajosamente con las especies originales, originando así un deterioro en las comunidades de las segundas. |
| | (-): 27,4 | (-): 8,2 | Adelanto: 1,4 | |
| Pastizales alpinos | (+): 13,4 | (+): 24,5 | Retraso: 6,0 | Actividad ganadera, aunque disminuida en los últimos años, que ha provocado un empobrecimiento de los pastos. |
| | (-): 49,9 | (-): 10,4 | Adelanto: 2,1 | |
| Pinares | (+): 31,6 | (+): 19,8 | Retraso: 8,6 | Retraso en la fenología como consecuencia de las escasas precipitaciones y la escasez de inviernos fríos. |
| | (-): 16,4 | (-): 13,1 | Adelanto: 0,3 | |

En cuanto a las anomalías del verdor en el año 2021 respecto a la media del periodo histórico, se aprecia que, en las zonas de alta montaña, sobre todo en la región noroccidental, disminuye la productividad, siendo muy notable en los meses de invierno respecto a la primavera, donde esta disminución es menor.

En cuanto a los pinares y encinares, se incrementa la productividad, encontrando áreas donde existe una disminución de esta en los meses de invierno y mediados de la primavera (Figura 135).

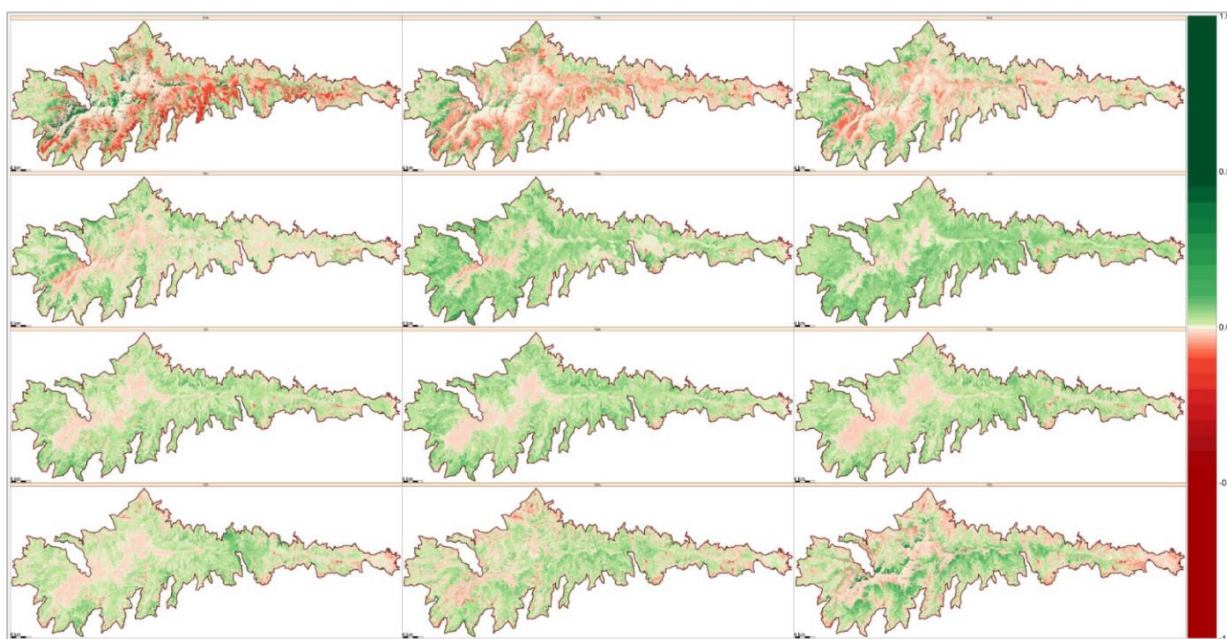


Figura 135. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

La media anual del EVI, que representa la producción primaria neta del año, en el año 2021 muestra una disminución de la productividad en zonas de alta montaña, principalmente en la región occidental.

En cambio, los pastizales de alta montaña, las repoblaciones de coníferas y los bosques naturales muestran un aumento de su productividad (Figura 136).

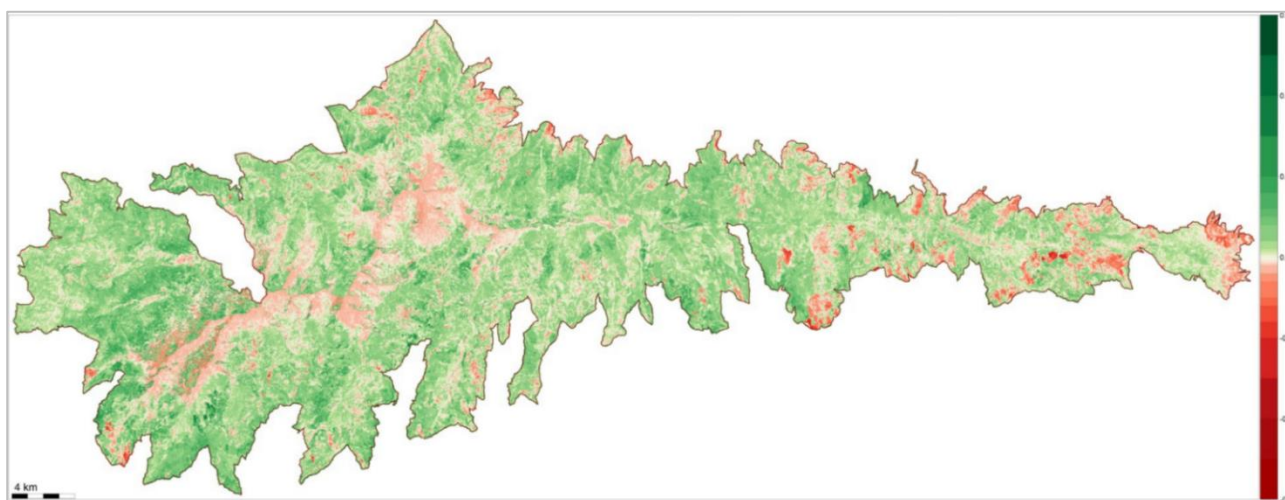


Figura 136. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021).

La dinámica del verdor de la vegetación del año 2021 es cercana a la que presenta la media mensual del periodo histórico. En primavera y verano, se observa un aumento en el EVI, pero manteniéndose dentro del rango de desviación histórico (Figura 137).

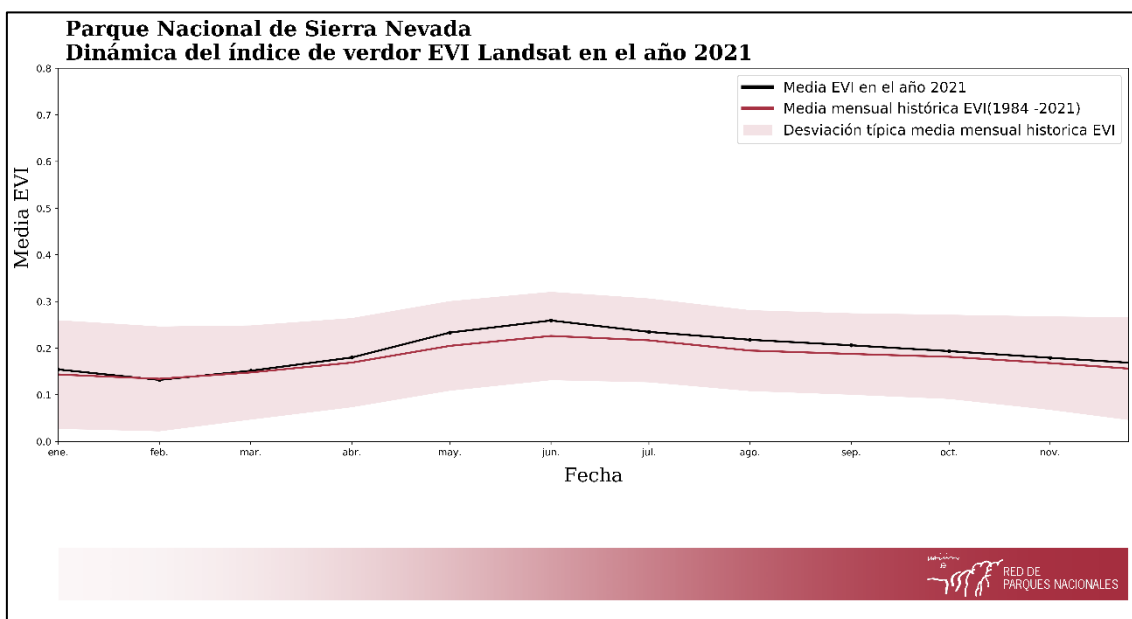


Figura 137. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

Los principales sistemas naturales vegetales presentan un comportamiento similar al expuesto anteriormente para toda la extensión del parque (Figura 138).

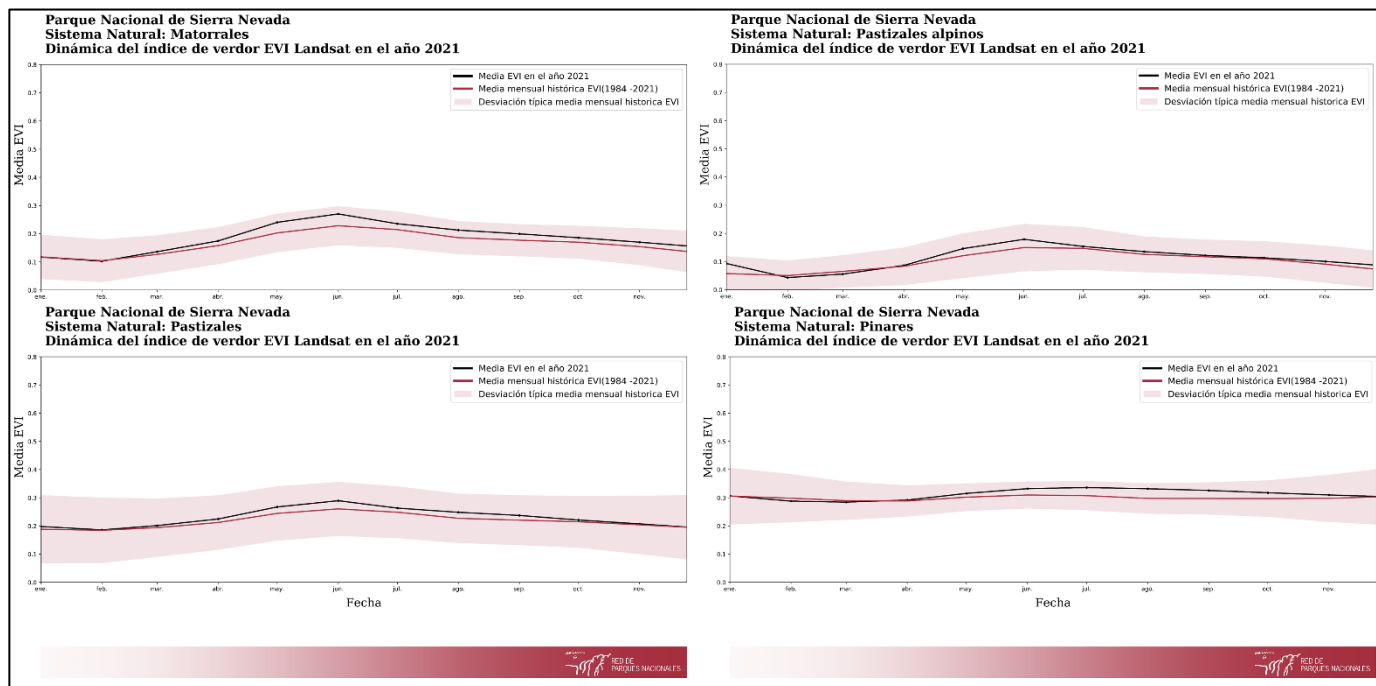


Figura 138. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.14. PARQUE NACIONAL DE TABLAS DE DAIMIEL

La productividad en el parque es bastante homogénea, presentando los valores máximos donde se encuentra vegetación asociada a inundaciones permanentes (Carrizales, espadañales, masegares y cañaverales) y valores mínimos en las zonas inundadas por los ríos Cigüela y Guadiana (Figura 139).

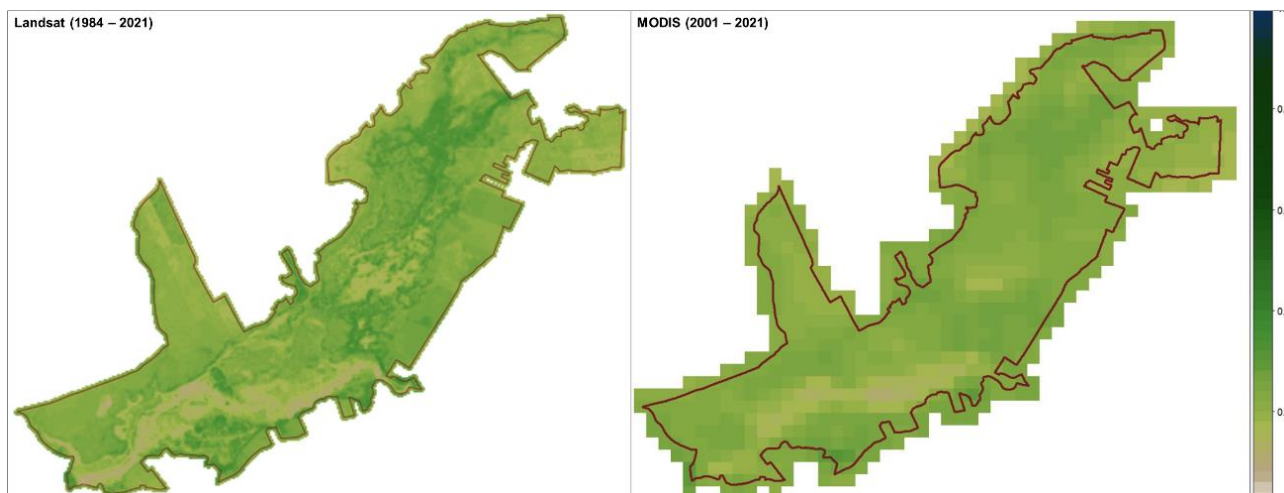


Figura 139. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 1984 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS).

En cuanto a la dinámica en la producción primaria neta, los valores más altos se concentran en los meses de verano, con una disminución de la misma en otoño e invierno (Figura 140).

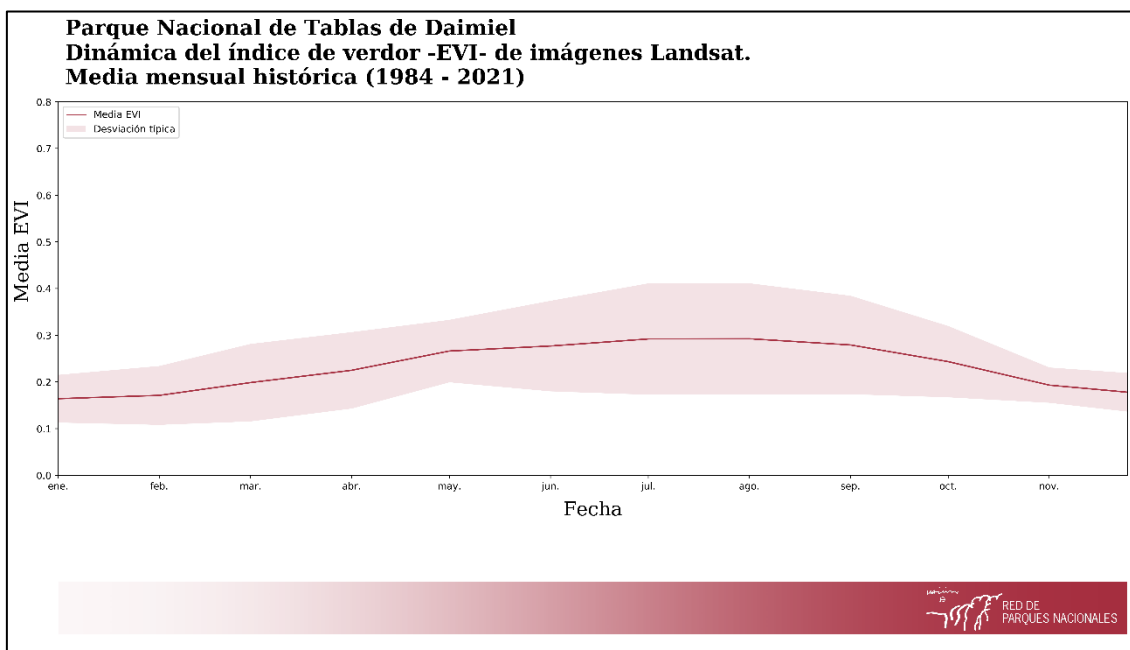


Figura 140. Media mensual histórica del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (1984 - 2021).

Los principales sistemas naturales vegetales del parque evolucionan de manera diferente. Se observa que los ecosistemas de lagunas y agua presentan una tendencia



negativa, frente a los pastizales y las dehesas, en los que las tendencias son estables (Figura 141).

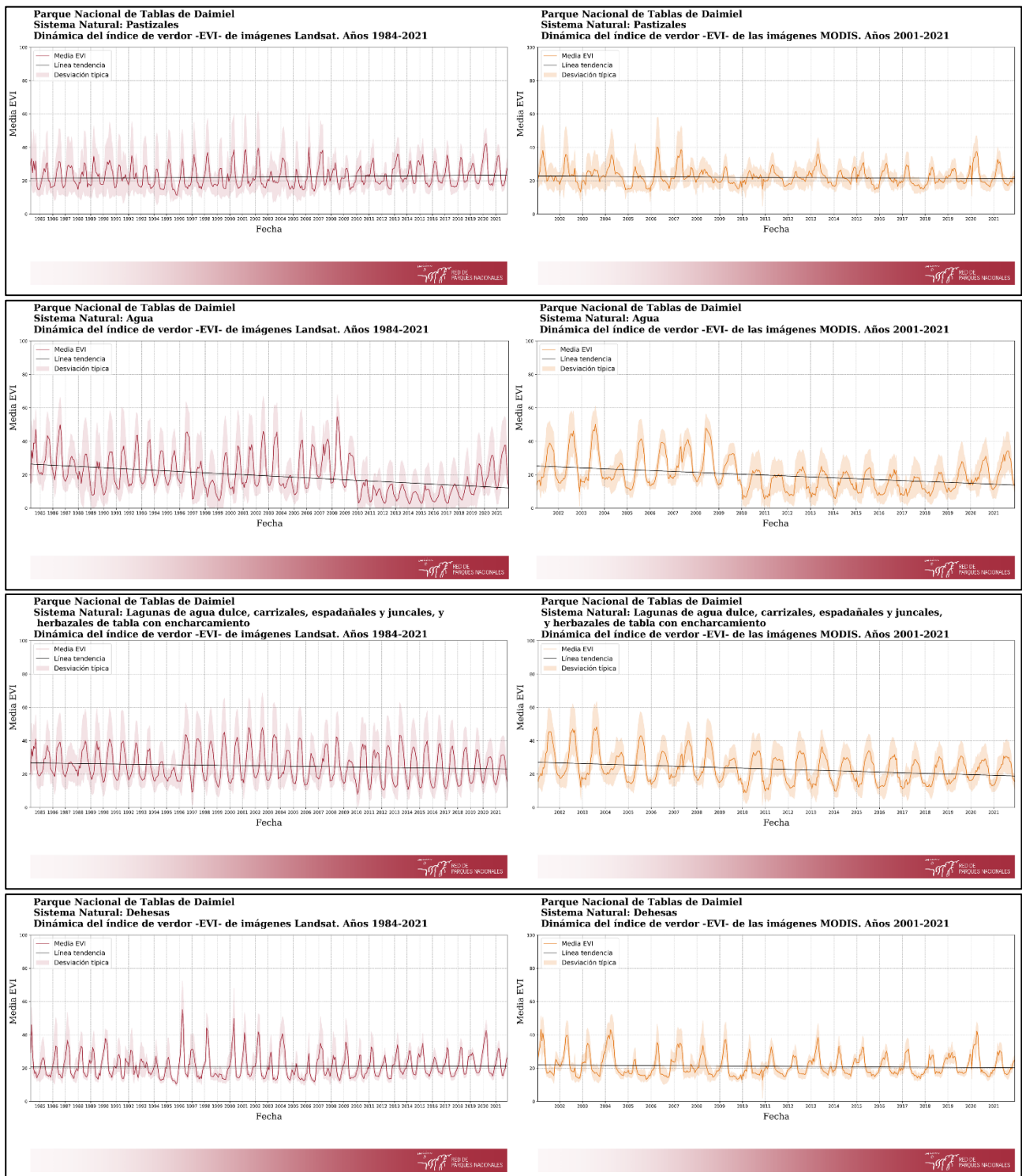


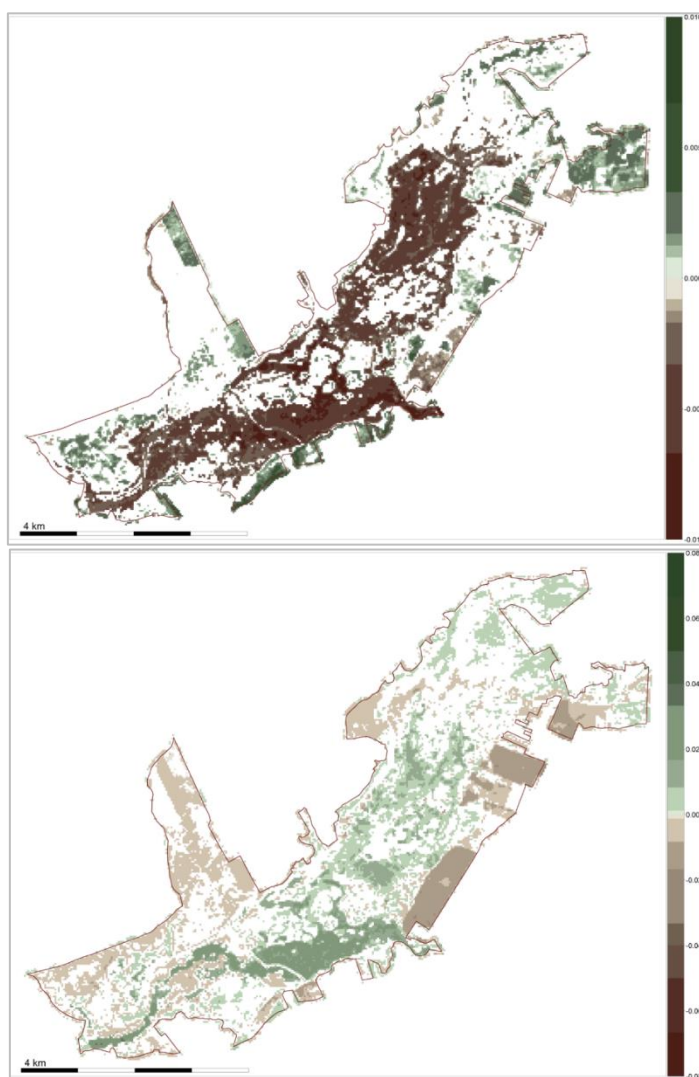
Figura 141. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 1984 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

Este comportamiento es observable en el mapa de la tendencia de la productividad (primera imagen, Figura 142), la cual en los ecosistemas de humedales

decrece, frente al crecimiento de la productividad que tienen los ecosistemas de pastizales situados al noreste y suroeste del parque.

La tendencia en la estacionalidad es creciente en los ecosistemas de agua, mientras que es decreciente en pastizales, cultivos y dehesas situadas en los bordes del parque.

La tendencia en la fenología es poco significativa, aunque se puede apreciar que los pastizales situados al este del parque tienden a retrasar el pico máximo de productividad de la vegetación, frente a los carrizales situados al sur del parque, que tienden a adelantarlo.



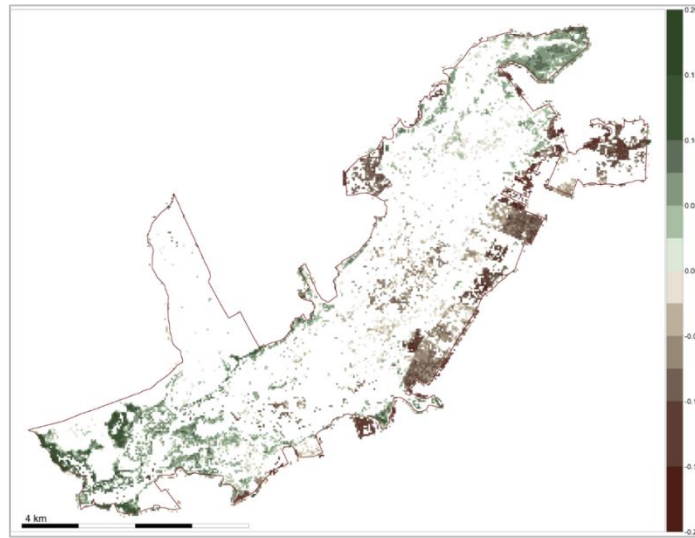


Figura 142. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 16).

Tabla 16. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---|--|----------------|-------------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Agua | (+): 0,5 | (+): 36,6 | Retraso: 3,9 | Disminución de la superficie inundada debido al descenso del nivel freático, además, existe contaminación de estas aguas debido al mal funcionamiento o saturación de las plantas de tratamiento (Jódar-Abellán, Albadalejo-García y Fernández-Rodríguez, 2016). El parque es un buen ejemplo de humedal sensible de la región mediterránea semiárida, que ha experimentado procesos de degradación debido a la escasez de agua y a una gestión inadecuada. Antes de 1970, en condiciones naturales, la superficie inundada alcanzaba más de 150 km ² debido a la descarga de aguas subterráneas y el desbordamiento de los ríos (Alvarez-Cobelas et al. 2001). Como consecuencia del impacto humano, la superficie máxima de inundación se ha reducido a menos de 19 km ² . |
| | (-): 87,7 | (-): 2,5 | Adelanto: 6,7 | |
| Dehesas | (+): 45,1 | (+): 0,8 | Retraso: 0,9 | Procesos muy similares a los que suceden en pastizales. |
| | (-): 0,0 | (-): 12,3 | Adelanto: 0,4 | |
| Lagunas de agua dulce, carrizales, espadañales y juncales, y herbazales de tabla con encharcamiento | (+): 4,5 | (+): 31,4 | Retraso: 10,4 | El masegar se está viendo desplazado por <i>Phragmites australis</i> en zonas poco profundas o con inundación ocasional, debido a que el primero no es capaz de soportar grandes periodos de sequía. Alteración de la superficie y forma de los humedales, con especial mención a la superficie de turberas, cuya superficie emergida aumenta como consecuencia del descenso del aporte hídrico al parque. Los procesos de degradación más relevantes para los gestores son los incendios del carrizo (<i>Phragmites australis</i>) que se expanden y arden en la turba. Ambos procesos dependen de las condiciones de humedad del suelo. La descomposición y acumulación de la vegetación seca provoca que no crezca vegetación nueva. Este proceso surge de la ruptura del funcionamiento hidrológico, seguido de sequías pronunciadas. El resultado es que dominan carrizos, eneas y tarays. Descenso de poblaciones de ribera, en especial de marjales (<i>Phragmites</i> sp.) y masegares (<i>Cladium mariscus</i>), así como dominancia de eneas, carrizos y tarays. |
| | (-): 34,2 | (-): 4,8 | Adelanto: 1,6 | |
| Pastizales | (+): 46,6 | (+): 15,4 | Retraso: 3,2 | Alta riqueza de leguminosas en suelos básicos, especialmente <i>Medicago</i> sp. hace que la PPN se vea incrementada y se favorezca la recuperación de comunidades pascícolas a corto-medio plazo (Carrasco, Hermosa y Roig, 2016). |
| | (-): 3,7 | (-): 18,8 | Adelanto: 11,8 | |

Las anomalías del verdor en el parque, muestran que las zonas donde la vegetación dominante está integrada por plantas palustres, se presentan valores por debajo de la media en el año 2021, mientras que, en zonas de dehesas o pastizales, los valores están por encima de la media (Figura 143).

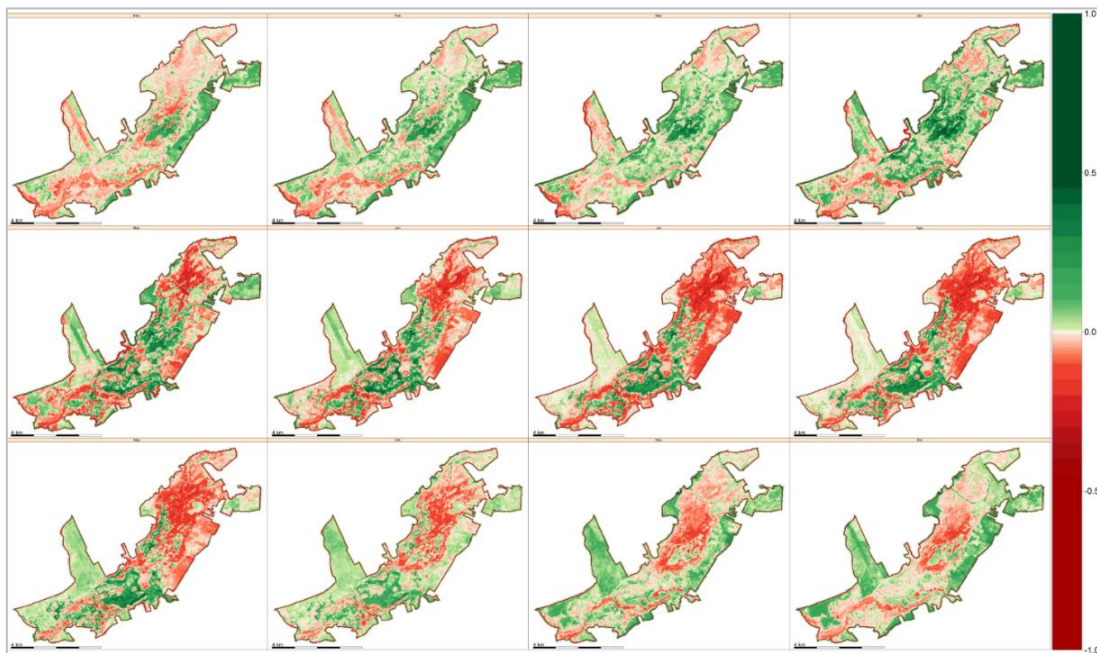


Figura 143. Anomalías observadas en el verdor de la vegetación para los meses de 2021, con respecto al promedio del EVI de toda la serie temporal (1984 - 2021).

La vegetación dependiente de la duración de la lámina de agua muestra una menor productividad en el año 2021 con respecto a la media del periodo histórico, mientras que las zonas independientes de la lámina de agua, la está incrementando (Figura 144).



Figura 144. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (1984-2021).

En cuanto a la dinámica de la productividad en el año 2021 respecto a la media (Figura 145), se observa que en los meses de invierno, primavera y otoño presenta valores superiores a los que se obtienen en la media, mientras que en verano los valores son ligeramente inferiores.

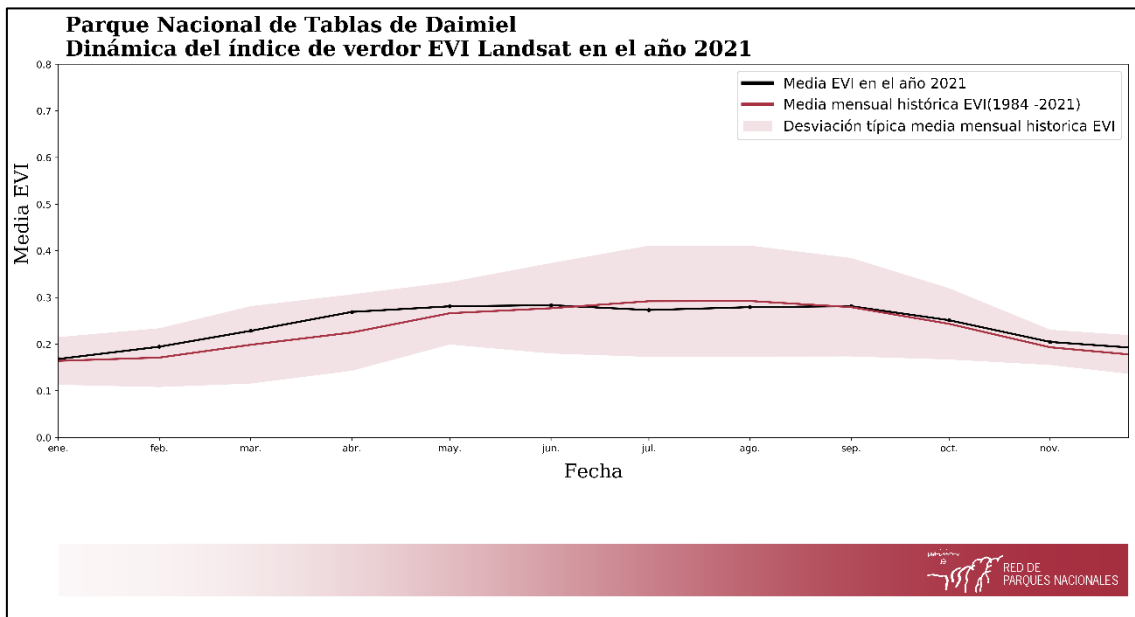


Figura 145. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en el parque.

El comportamiento de la productividad en los principales sistemas naturales vegetales que conforman al parque es muy heterogéneo. El sistema de agua presenta valores superiores de productividad en los meses de invierno de 2021 con respecto al comportamiento natural de este sistema, al igual que las lagunas, mientras que las dehesas y pastizales, presentan valores superiores en invierno, mientras que en primavera y verano los valores son inferiores (Figura 146).

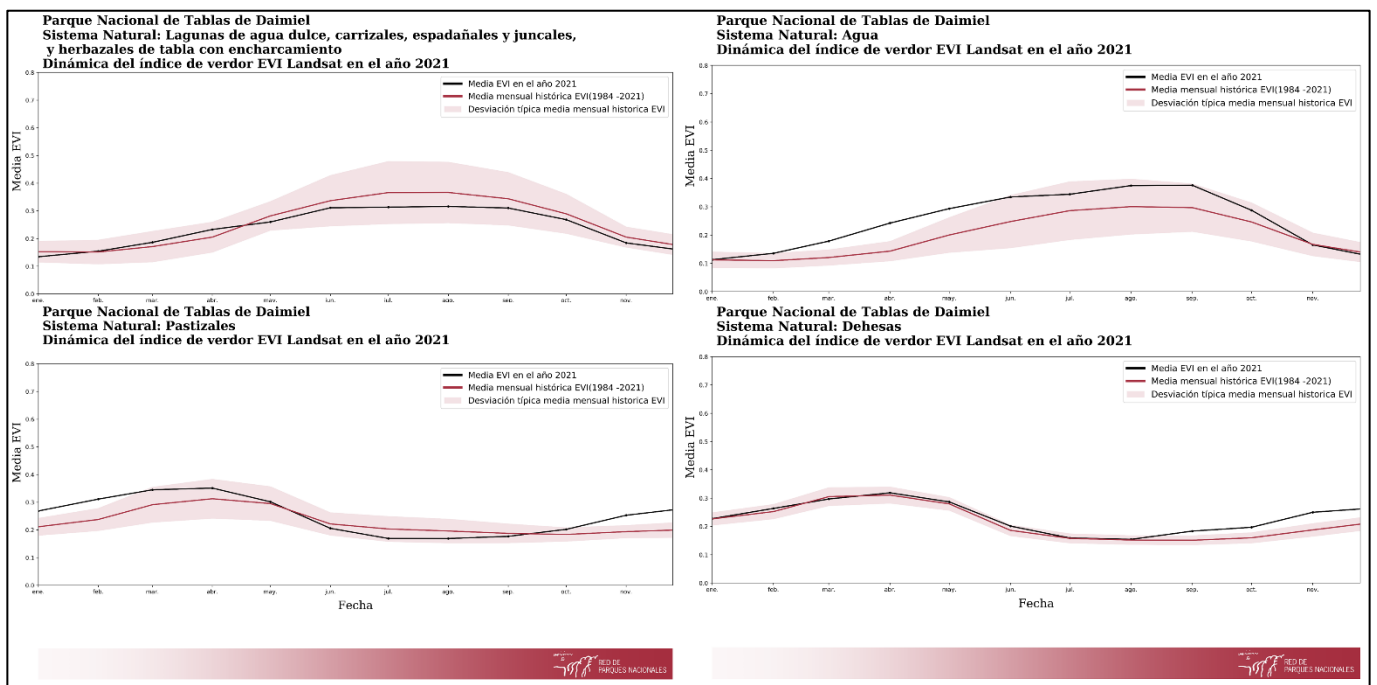


Figura 146. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (1984 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.15. PARQUE NACIONAL DE TEIDE

La producción primaria neta en este parque es bastante baja, encontrando los valores más altos en las regiones donde se encuentra el pino canario, al noroeste y sur del parque (Figura 147).

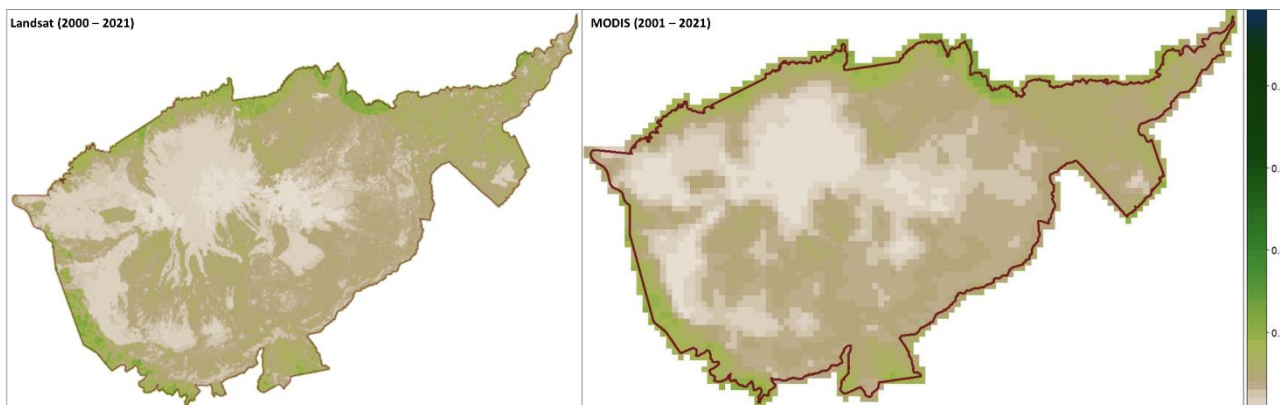


Figura 147. Producción primaria expresada como el valor medio del índice de vegetación EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal (desde 2000 hasta 2021 en el caso de Landsat y desde 2001 hasta 2021 en el caso de MODIS).

La productividad es bastante homogénea a lo largo del año, habitual en los parques que se encuentran en la región macaronésica (Figura 148)

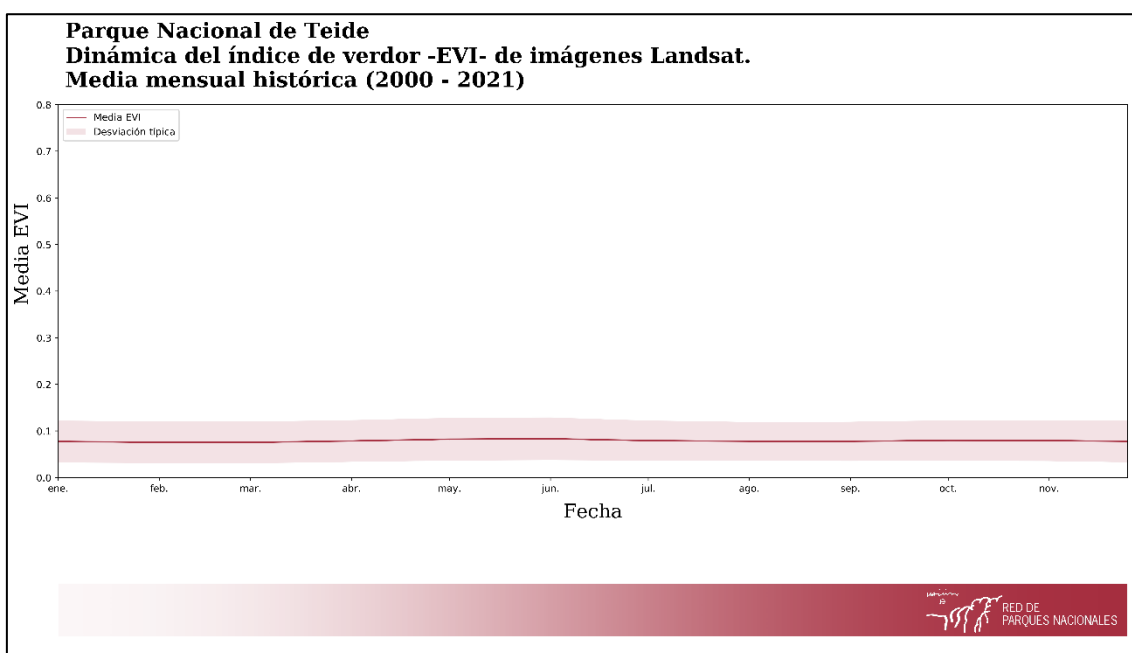


Figura 148. Media mensual histórica del Parque Nacional del Teide (2000 - 2021).

En cuantos, a los principales sistemas naturales vegetales, se aprecia como son los ecosistemas de pinares los que mayor productividad tienen. La tendencia en todos ellos es ligeramente decreciente (Figura 149).

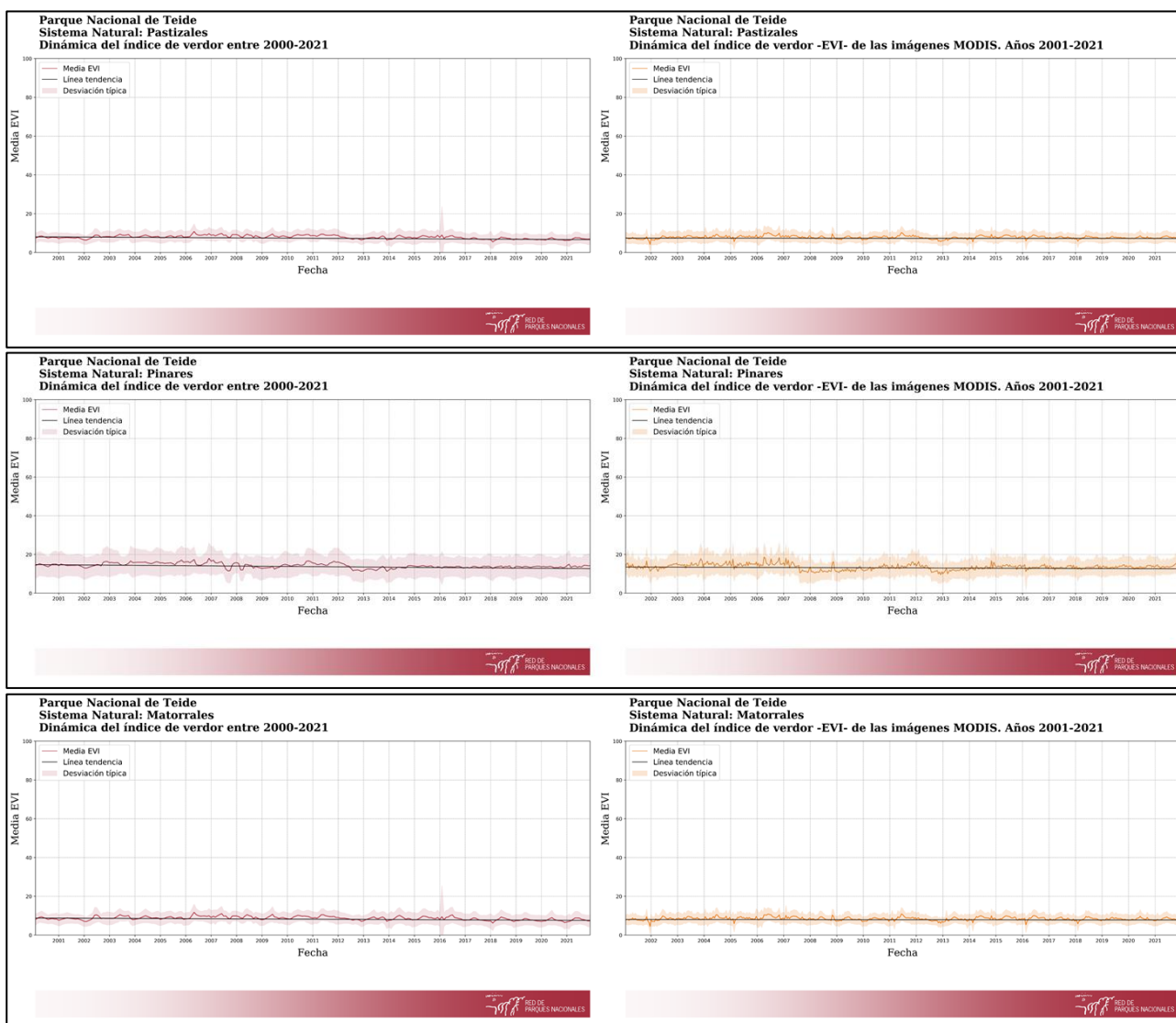


Figura 149. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 2000 – 2021; MODIS, 2001 - 2021)

La Figura 150 muestra como la tendencia en la productividad es decreciente, mientras que la tendencia en la estacionalidad es positiva en todo el parque. En cuanto a la tendencia de la fenología, se aprecia como en todo el parque se está adelantando el pico del valor máximo.

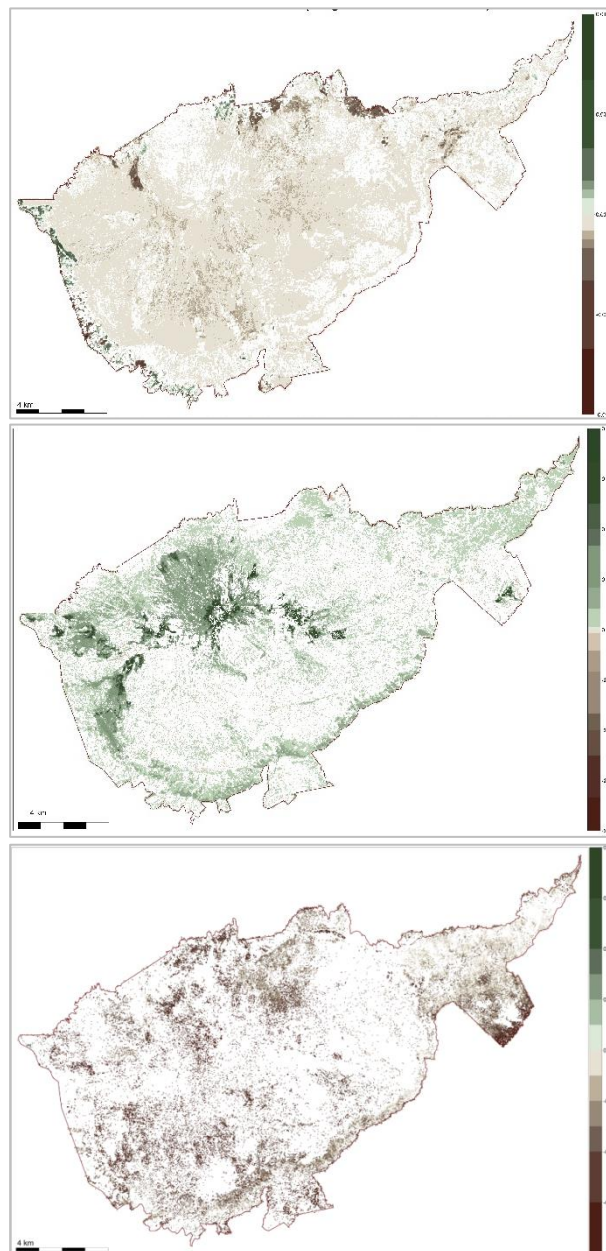


Figura 150. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 17).

Tabla 17. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional del Teide.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|-----------------|--|----------------|----------------|---|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Matorrales | (+): 0,2 | (+): 57,3 | Retraso: 1,5 | Disminución de la superficie que ocupa la retama de cumbre (<i>Spartocytisus supranubius</i>) (Martín-Esquivel, Marrero-Gómez y González-Mancebo, 2021), cuyo reclutamiento también se está viendo muy afectado por la presencia de herbívoros (Cubas et al, 2018). Sustitución progresiva de <i>Spartocytisus supranubius</i> por <i>Pterocephalus lasiospermus</i> . Este taxón no sufre predación por herbivoría, que además se ve beneficiada por los excrementos secretados por los herbívoros, aumentando así su aporte de nutrientes (Martín-Esquivel et al., 2020). El aumento de la temperatura afecta positivamente a <i>Pterocephalus lasiospermus</i> , ya que es una especie termófila. El efecto de este factor climático se ha incrementado el aumento de la nubosidad también observado, refuerza el forzamiento radiativo positivo de la atmósfera en las cumbres del parque. Esto conlleva la reducción del Rango Diurno de Temperatura (DTR), lo que beneficia a <i>Pterocephalus lasiospermus</i> sobre sus competidores directos (Martín-Esquivel et al., 2021). El adelanto en amplias zonas de este sistema natural debe corresponder a la proliferación de <i>Pterocephalus lasiospermus</i> , una especie sensible al frío (Perera-Castro et al, 2017), que incrementa su tasa de supervivencia con el incremento de la temperatura (Cubas et al, 2017). |
| | (-): 96,2 | (-): 0,3 | Adelanto: 12,5 | |
| Pastizales | (+): 0,4 | (+): 48,8 | Retraso: 0,7 | Presencia de herbívoros. Las comunidades de conejos tienen una influencia directa sobre la abundancia de taxones vegetales en ambas zonas. Sin embargo, la especie beneficiada por su presencia es <i>Pterocephalus lasiospermus</i> . |
| | (-): 96,0 | (-): 0,6 | Adelanto: 15,6 | |
| Pinares | (+): 5,0 | (+): 31,7 | Retraso: 0,7 | Cambios altitudinales en la distribución del pinar. Se prevé un ascenso altitudinal del pinar debido al aumento de temperaturas y el descenso de las precipitaciones. (Brito et al. 2014, 2015, 2016; Wieser et al, 2016). |
| | (-): 77,3 | (-): 9,0 | Adelanto: 6,2 | |

Las anomalías en el año 2021 con respecto a la media, muestra como la productividad en este año ha sido menor a la media del parque, encontrando zonas en donde es superior al norte, oeste y suroeste del parque (Figura 151).

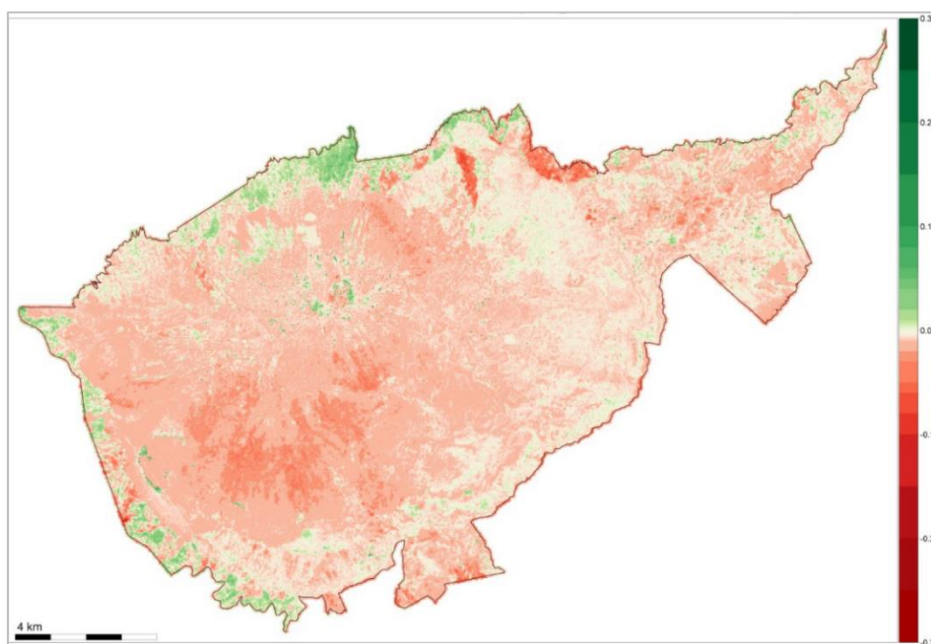


Figura 151. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (2000-2021).

La dinámica de la producción primaria neta del 2021 con respecto a la media del parque, muestra como en todos los meses se sitúa por debajo, siendo esto visible en todos los sistemas naturales vegetales de este parque (Figura 152 y Figura 153).

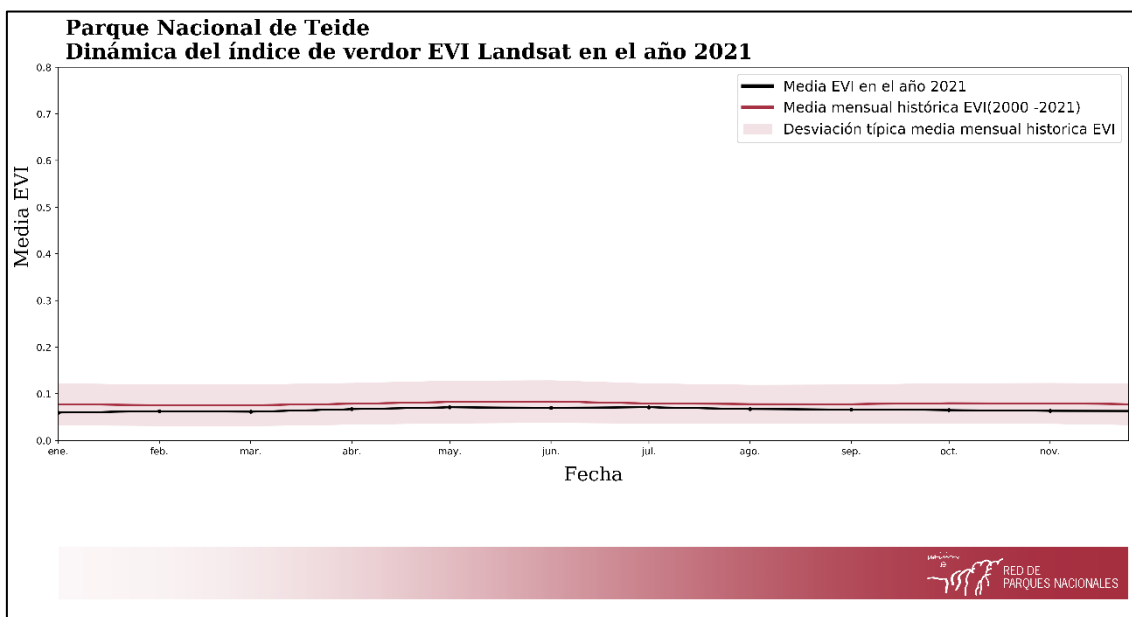


Figura 152. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en el parque.

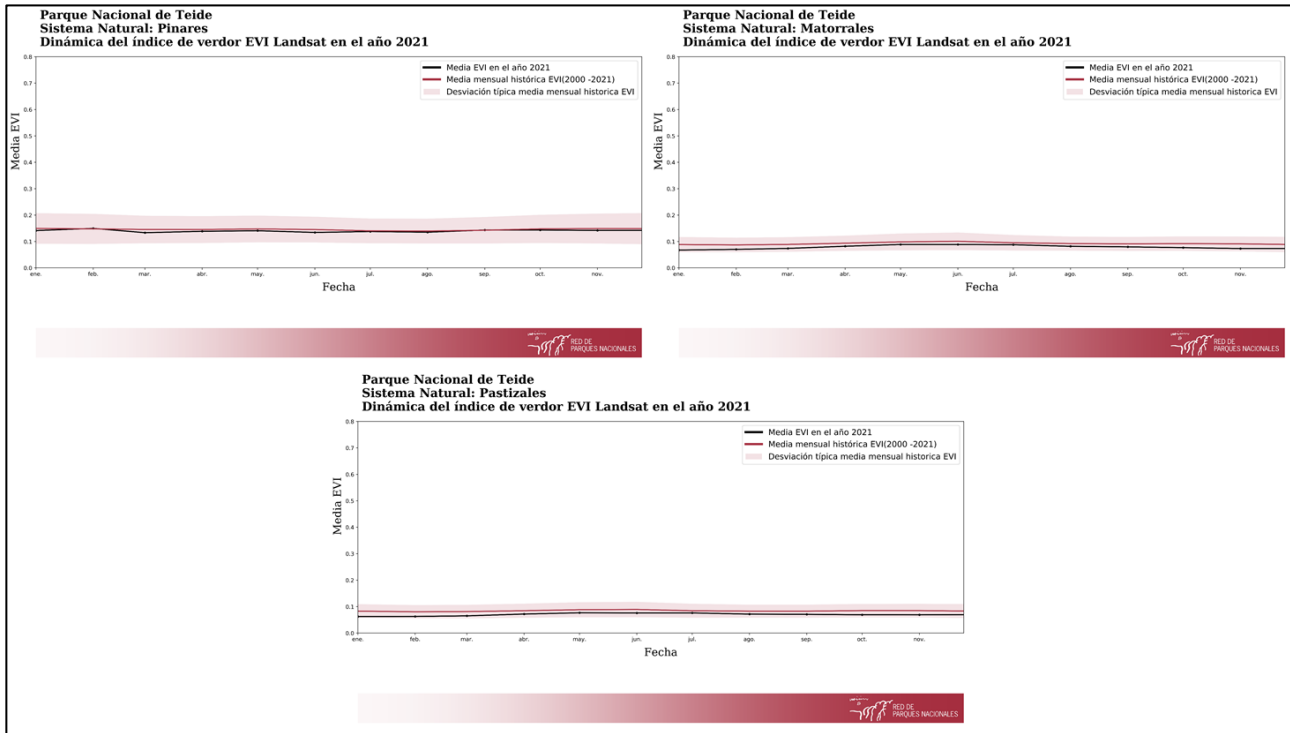


Figura 153. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

4.16. PARQUE NACIONAL DE TIMANFAYA

El Parque Nacional de Timanfaya carece de vegetación, por lo que su productividad es nula, a excepción de las regiones habitadas por Tabaibales y comunidades de líquenes, adaptadas a vivir en condiciones hostiles, al suroeste del parque (Figura 154).

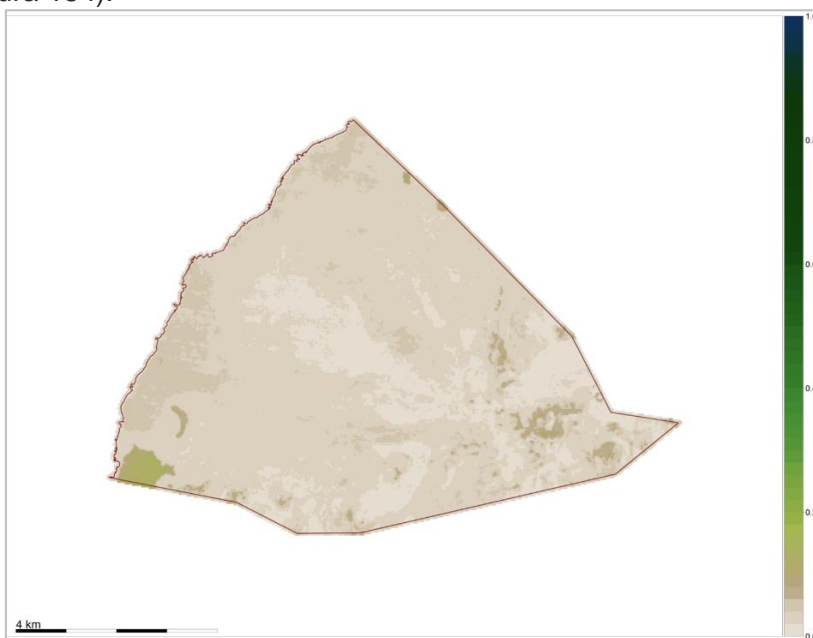


Figura 154. Producción primaria expresada como el valor medio del índice EVI de un año promedio representativo de toda la serie temporal. Landsat (2000 – 2021)

La evolución de la productividad del parque muestra que es muy baja y homogénea a lo largo de los meses, teniendo valores inferiores en los meses de verano (Figura 155).

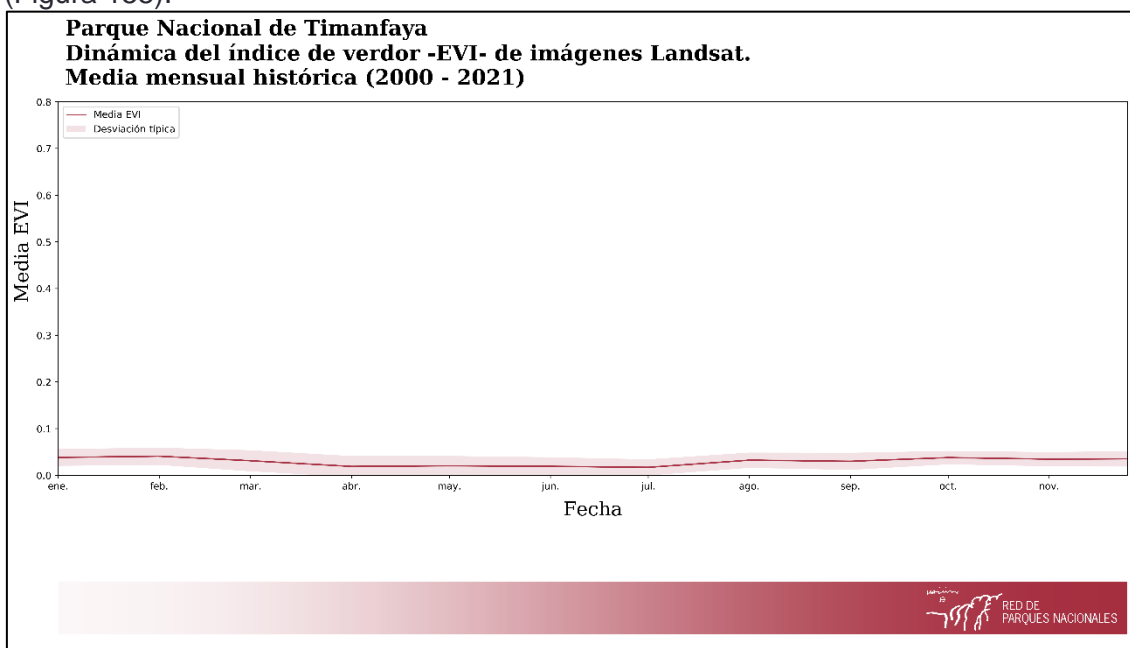
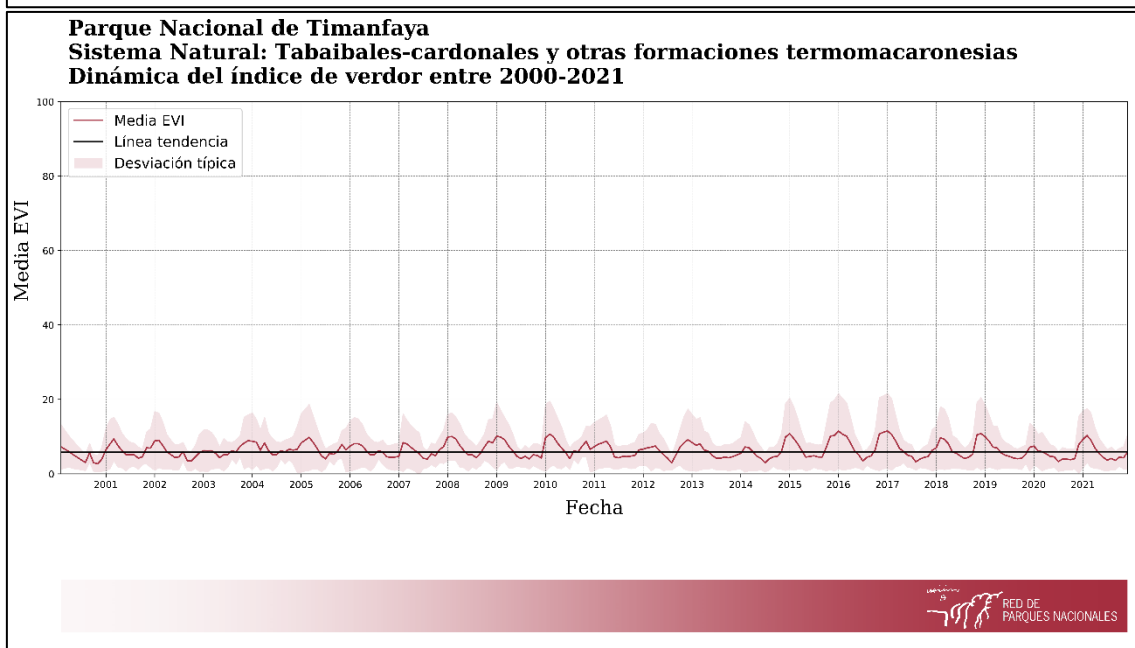
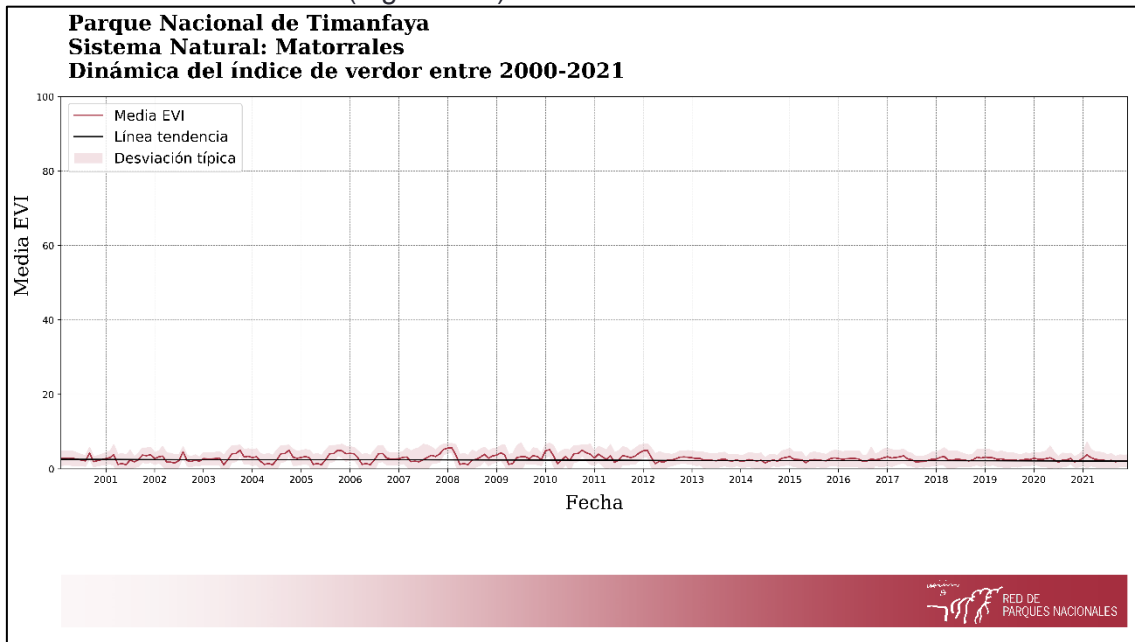


Figura 155. Media mensual histórica del Parque Nacional de Timanfaya (2000 - 2021).



Sus principales ecosistemas presentan una tendencia decreciente en el caso de los matorrales y tabaibales. Sin embargo, en zonas de escasa vegetación, su tendencia es levemente ascendente (Figura 156).



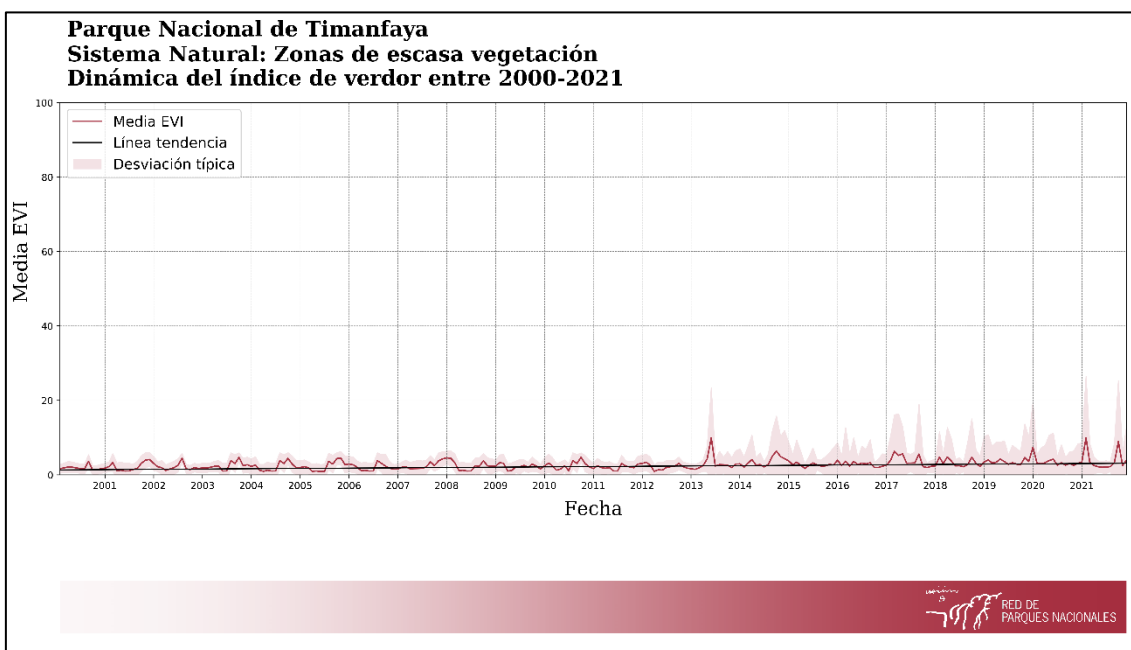
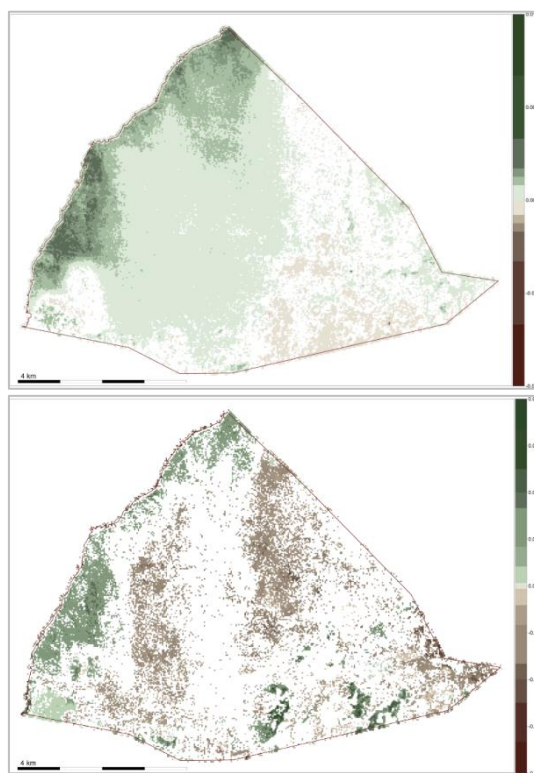


Figura 156. Dinámica del verdor del índice EVI de los principales sistemas naturales vegetales (Landsat, 2000 – 2021)

En la Figura 157 se muestra como en las zonas de escasa vegetación, la tendencia en la productividad es creciente, principalmente al oeste del parque. En cuanto a la tendencia en la estacionalidad, se aprecia como al oeste del parque ésta se incrementa, mientras que en el centro del mismo disminuye. La tendencia en la fenología presenta en su mayoría valores pocos significativos.



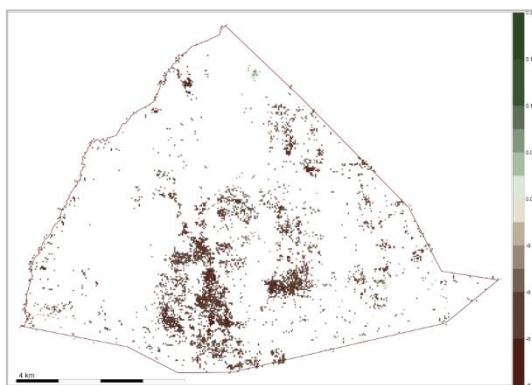


Figura 157. Tendencia en el EVI medio (producción primaria), el coeficiente de variación intra-anual (estacionalidad) y la fecha del EVI máximo intra-anual (fenología). El p-valor seleccionado es 0.10.

En la siguiente tabla se hace una aproximación bibliográfica de los posibles procesos de cambio ecológico compatibles con las tendencias observadas en el Parque. Estos procesos están pendientes de comprobación y validación con las administraciones gestoras de los parques nacionales (Tabla 18).

Tabla 18. Tendencias de cambio en el funcionamiento ecosistémico más relevantes observadas en los sistemas naturales del Parque Nacional de Timanfaya.

| Sistema Natural | Tendencias (% de superficie del sistema natural) | | | Procesos de cambio ecológico compatibles |
|---|--|----------------|---------------|--|
| | PPN | Estacionalidad | Fenología | |
| Matorrales | (+): 0,0 | (+): 24,2 | Retraso: 8,0 | Las áreas de matorral podrían estar sometidas a una intensificación de los procesos de degradación, como muestra el hecho de que estén siendo ocupadas por matorral de <i>Launaea arborescens</i> , está presente en zonas degradadas (Martín-Esquivel, 2010). En cualquier caso, se trata de una superficie pequeña en el conjunto del parque. |
| | (-): 97,7 | (-): 28,3 | Adelanto: 1,4 | |
| Tabaibales-cardonales y otras formaciones termomacaronesias | (+): 0,0 | (+): 84,7 | Retraso: 9,8 | Las fluctuaciones en estacionalidad pueden ser debidas al hecho de que es en invierno cuando se registran mayores tasas de dióxido de carbono emitidas por el volcán de Timanfaya (Hernández et al., 2012). También podrían estar sujetos a procesos de degradación como en el caso de los matorrales. |
| | (-): 74,9 | (-): 0,3 | Adelanto: 0,5 | |
| Zonas de escasa vegetación | (+): 0,0 | (+): 54,4 | Retraso: 4,4 | La disparidad de datos se correspondería al gradiente natural en el grado de poblamiento de las cubiertas líquénicas en función de su proximidad a la costa. Los líquenes crustáceo que controlan mejor la pérdida de agua predominan en la costa, mientras que los fruticulosos son propios de zonas alejadas a la misma (Martín-Esquivel, 2010). |
| | (-): 98,6 | (-): 13,8 | Adelanto: 1,3 | |

Las anomalías en el año 2021 con respecto a la media, muestra como la productividad en este año ha sido mayor a la media del parque en la zona central, encontrando valores negativos al sur del mismo (Figura 158).

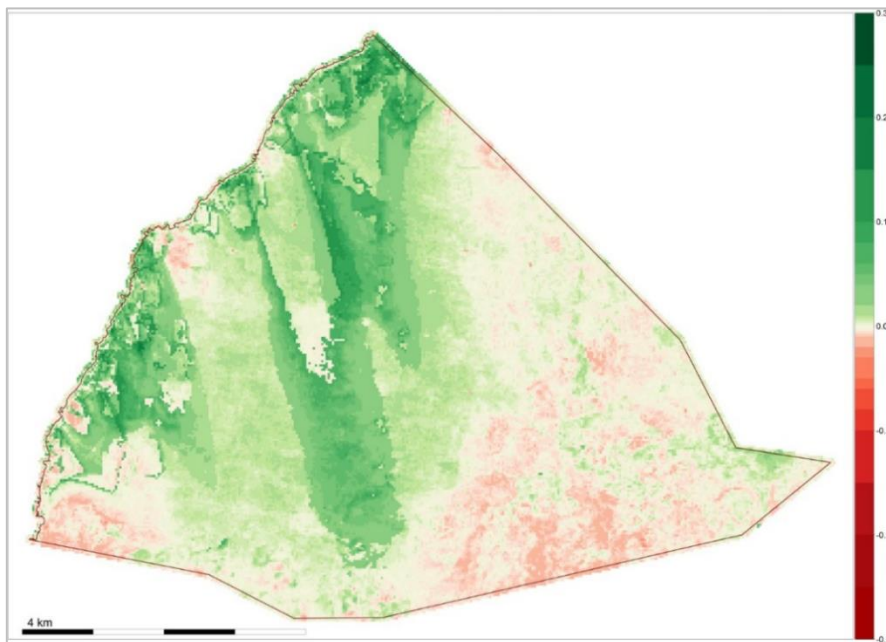


Figura 158. Anomalías observadas en la producción primaria, tanto en sentido positivo como negativo, con respecto al promedio de toda la serie temporal del EVI medio (2000-2021).

En cuanto a la dinámica de la productividad en el año 2021 respecto a la media (Figura 159), se observa que en febrero y en octubre hay un incremento importante de la productividad, mientras que los meses restantes se sitúan en los valores de la media histórica. Esta dinámica es observable en los principales sistemas naturales vegetales (Figura 160)

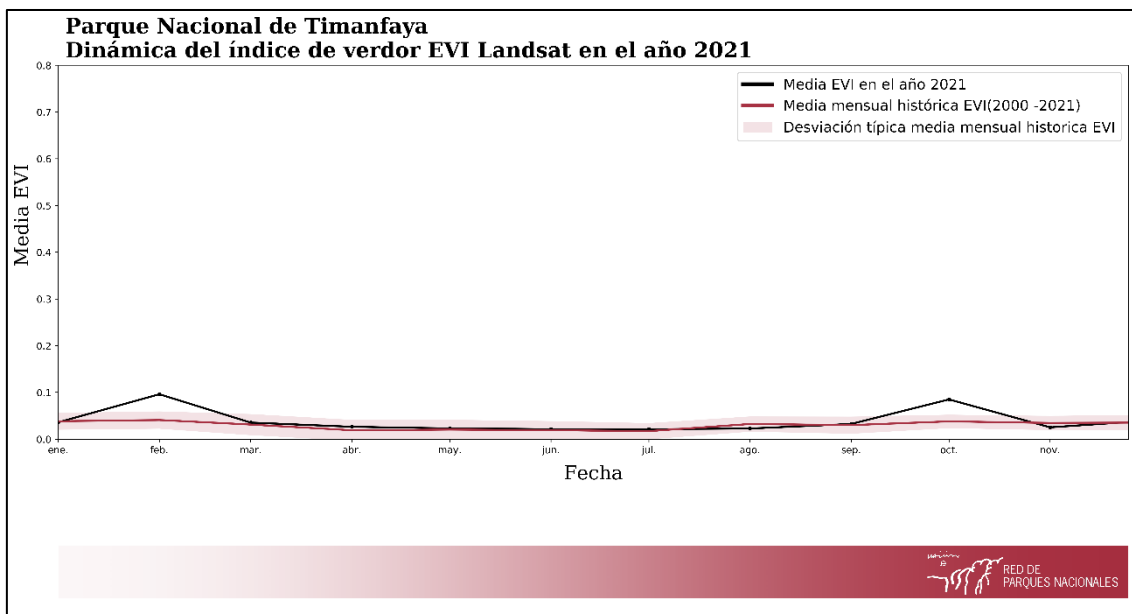


Figura 159. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en el parque.

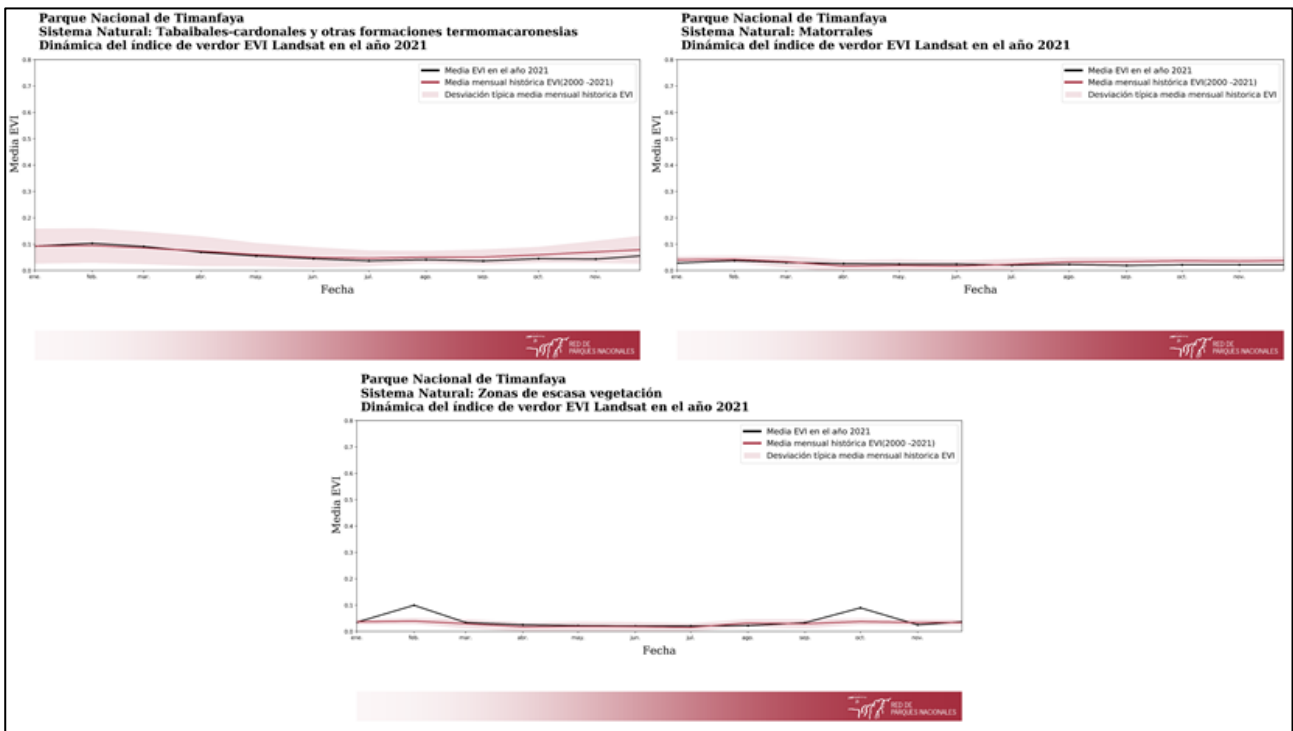


Figura 160. Dinámica del verdor en el año 2021 con respecto al periodo establecido (2000 -2021) en los principales sistemas naturales vegetales.

5. CONCLUSIONES

El sistema REMOTE (monitoreo de la Red de Parques Nacionales mediante teledetección) permite obtener información de manera semiautomática sobre el funcionamiento de los sistemas naturales de la Red de Parques Nacionales. En la actualidad, en el medio terrestre analiza la variación de la productividad primaria (indicador importante del estado de los ecosistemas), mediante los datos de los índices de verdor de la vegetación procedentes de los satélites MODIS y LANDSAT, y también se está comenzando a utilizar los satélites SENTINEL, con mayor resolución espacial. En el medio marino se obtiene información de clorofila a y temperatura superficial del agua. Finalmente, se realiza un estudio de índices de masas de agua en los parques nacionales que representan principalmente sistemas naturales asociados a humedales.

De este modo, se obtiene información sobre las condiciones de referencia, las tendencias y las anomalías de la productividad primaria, la estacionalidad y la fenología de los sistemas naturales en la Red de Parques Nacionales, tomando de referencia una serie histórica continuada de datos resumidos cada 7 días en la parte marina, 15 días en MODIS y Sentinel 2 y 30 días en el caso de Landsat. Las resoluciones espaciales actuales varían desde 1 km en la parte marina, y 250, 10 y 30 metros respectivamente, según el tipo de satélite, en la parte terrestre. La diferencia entre los máximos y mínimos de productividad primaria proporciona información sobre la estacionalidad y los momentos de esos máximos y mínimos aportan datos relacionados con la fenología de la vegetación.

El sistema ha sido desarrollado en el OAPN en colaboración con del Grupo TRAGSA y apoyo de la Universidad de Almería, en el marco del Plan de Seguimiento y Evaluación de la Red de Parques Nacionales, y en coherencia con lo acordado en los principales órganos colegiados de la Red, en los que está representados tanto la AGE como las CCAA.

La información obtenida por este medio puede contrastarse con trabajo de campo en aquellas zonas donde se detecten cambios o anomalías, tanto temporales (momento del año en que se manifiestan) como espaciales (lugar donde ocurren), así como donde se detectan tendencias marcadas de aumento o disminución de la productividad primaria. También puede relacionarse la información de los cambios en la productividad primaria con datos surgidos de otras iniciativas de seguimiento, como los meteorológicos.



6. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, H., Moreno, L., Jiménez, E., Castaño, S., De la Losa, A. (2009). Tipos funcionales de suelo y distribución de nutrientes en la ZNS en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*, 9.

Aguilera, H., Moreno, L., Wesseling, J.G., Jiménez-Hernández, M.E., Castaño, S. (2016). Soil moisture prediction to support management in semiarid wetlands during drying episodes. *Catena*, 147, 709-724.

Aguirre, S. (2018). Evaluación de los efectos de la sequía en el funcionamiento de los ecosistemas del Espacio Protegido de Sierra Nevada (Andalucía, SE España) mediante series temporales de índices verdes. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Almería.

Alcaraz, D., Cabello, J., Paruelo, J., Delibes, M., (2009). Use of Descriptors of Ecosystem Functioning for Monitoring a National Park Network: A Remote Sensing Approach. *Environmental Management*, 43(1): 38-48

Alcaraz-Segura, D., Liras, E., Tabik, S., Paruelo, J., Cabello, J. (2010). Evaluating the consistency of the 1982–1999 NDVI trends in the Iberian Peninsula across four time-series derived from the AVHRR sensor: LTDR, GIMMS, FASIR, and PAL-II. *Sensors*, 10(2), 1291-1314.

Alcaraz-Segura, D., Bella, C.M.D., Straschnoy, J.V. (Eds.). (2013). *Earth Observation of Ecosystem Services* (1st ed.). CRC Press.

Alvarez-Cobelas, M., Cirujano, S., Sánchez-Carrillo, S. (2001). Hydrological and botanical man-made changes in the Spanish wetland of Las Tablas de Daimiel. *Biological conservation*, 97(1), 89-98.

Aponte-Saravia, J., Ospina-Noreña, J. (2019). Evaluando el desempeño de índices espectrales para identificar humedales alto andinos. *Revista de Teledetección*, 59.

Battisti, A., Stastny, M., Buffo, E., Larsson, S. (2006). A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global change biology*, 12(4), 662-671.

Bajgain, R., Xiao, X., Wagle, P., Basara, J., Zhou, Y. (2015). Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 108, 151-160.

Barron, O.V., Emelyanova, I., Van Niel, T.G., Pollock, D., Hodgson, G. (2014), Mapping groundwater-dependent ecosystems using remote sensing measures of vegetation and moisture dynamics. *Hydrol. Process.*, 28: 372-385.

Bernárdez, G., Acedo, C., Mouriño, J., Lence, C., Rigueiro, A. (2015). Catálogo florístico del Parque Nacional Marítimo-Terrestre de las Islas Atlánticas. Documentos XIII.

Brito, P., Lorenzo, J. R., González-Rodríguez, Á. M., Morales, D., Wieser, G., Jimenez, M. S. (2014). Canopy transpiration of a *Pinus canariensis* forest at the tree line: implications for its distribution under predicted climate warming. *European journal of forest research*, 133(3), 491-500.

Brito, P., Lorenzo, J. R., González-Rodríguez, Á. M., Morales, D., Wieser, G., Jimenez, M. S. (2015). Canopy transpiration of a semi arid *Pinus canariensis* forest at a treeline ecotone in two hydrologically contrasting years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 120-127.

Brito, P., Grams, T. E., Matyssek, R., Jimenez, M. S., Gonzalez-Rodríguez, A. M., Oberhuber, W., Wieser, G. (2016). Increased water use efficiency does not prevent

growth decline of *Pinus canariensis* in a semi-arid treeline ecotone in Tenerife, Canary Islands (Spain). *Annals of forest science*, 73(3), 741-749.

Cabello, J., Alcaraz-Segura, D., Lourenço, P., Reyes, A. (2012). Guía para la incorporación de la Red de Parques Nacionales. OAPN.

Cabello, J., Mairota, P., Alcaraz-Segura, D., Arenas-Castro, S., Escribano, P., Leitão, P., Martínez-López, J., Regos, A., Requena-Mullor, J. (2018). Satellite Remote Sensing of Ecosystem Functions: Opportunities and Challenges for Reporting Obligations of the EU Habitat Directive. In IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 6604-6607

Chandrasekar, K., Sessa Sai, M. V., Roy, P. S. (2010). Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS Vegetation Index product. International Journal of Remote Sensing, 31(15), 3987-4005.

Camarero, J. J., Gazol, A., Galván, J. D., Sangüesa-Barreda, G., Gutiérrez, E. (2015). Disparate effects of global-change drivers on mountain conifer forests: Warming-induced growth enhancement in young trees vs. CO₂ fertilization in old trees from wet sites. Global Change Biology, 21(2), 738-749.

Camarero, J. J., Gazol, A., Tardif, J. C., Conciatori, F. (2015). Attributing forest responses to global-change drivers: limited evidence of a CO₂-fertilization effect in Iberian pine growth. Journal of Biogeography, 42(11), 2220-2233.

Castaño-Santamaría, J., López-Sánchez, C. A., Obeso, J. R., Barrio-Anta, M. (2019). Modelling and mapping beech forest distribution and site productivity under different climate change scenarios in the Cantabrian Range (North-western Spain). Forest Ecology and Management, 450, 117488.

Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S. (2002a). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach. Remote sensing of environment, 82(2-3), 188-197.

Ceccato, P., Flasse, S., Gregoire, J. M. (2002b). Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications. Remote Sensing of Environment, 82(2-3), 198-207.

Cubas, J., Martín-Esquivel, J. L., Arco, M. D., González-Mancebo, J. M. (2017). El conejo europeo como ingeniero del paisaje en la alta montaña canaria. Conservación vegetal.

Cubas, J., Martín-Esquivel, J.L., Nogales, M., Irl, S.D.H., Hernández-Hernández, R., López-Darias, M. (2018). Contrasting effects of invasive rabbits on endemic plants driving vegetation change in a subtropical alpine insular environment. Biological invasions, 20(3): 793-807.

De Keersmaecker, W., Lhermitte, S., Honnay, O., Farifteh, J., Somers, B., Coppin, P. (2014). How to measure ecosystem stability? An evaluation of the reliability of stability metrics based on remote sensing time series across the major global ecosystems. Global change biology, 20(7), 2149-2161.

Du, T.L.T., Bui, D.D., Nguyen, M.D., Lee, H. (2018). Satellite-Based, Multi-Indices for Evaluation of Agricultural Droughts in a Highly Dynamic Tropical Catchment, Central Vietnam. Water, 10(5):659.

Dyderski, M. K., Paż, S., Frelich, L. E., Jagodziński, A. M. (2018). How much does climate change threaten European forest tree species distributions?. Global change biology, 24(3), 1150-1163.

Eamus, D., Froend, R. (2006). Groundwater-dependent ecosystems: the where, what and why of GDEs. Australian Journal of Botany, 54(2), 91-96.

Escribano, P., Fernández, N., Oyonarte, C., Reyes, A., Requena, JM., Cabello, J. (2017). Resistance and resilience metrics as tools for managers of protected areas. XIV MEDECOS & XII AEET meeting, 31st January-4th February. Seville, Spain.

Gao, B. (1996). NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266.

García-Llamas, P., Geijzendorffer, I. R., García-Nieto, A. P., Calvo, L., Suárez-Seoane, S., Cramer, W. (2019). Impact of land cover change on ecosystem service supply in mountain systems: a case study in the Cantabrian Mountains (NW of Spain). *Regional Environmental Change*, 19(2), 529-542.

García-Ruiz, J.M., López-Moreno, J.I., Lasanta, T. & Vicente-Serrano, S.M, Gonzalez Samperiz, P., Valero-Garcés, B. L., Sanjuan, Y., Beguería, S., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N., Gómez-Villar, A. (2015). Los efectos geoecológicos del cambio global en el Pirineo Central Español: una revisión a distintas escalas espaciales y temporales. *Pirineos*. 170, 1-174

Gartzia, M., Alados, C. L., Perez-Cabello, F. (2014). Assessment of the effects of biophysical and anthropogenic factors on woody plant encroachment in dense and sparse mountain grasslands based on remote sensing data. *Progress in Physical Geography*, 38(2), 201-217

Grimm, V., & Wissel, C. (1997). Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. *Oecologia*, 109(3), 323-334.

Guehl, J. M., & Aussenac, G. (1987). Photosynthesis decrease and stomatal control of gas exchange in *Abies alba* Mill. in response to vapor pressure difference. *Plant physiology*, 83(2), 316-322.

Guehl, J. M., Aussenac, G., Bouachrine, J., Zimmermann, R., Pennes, J. M., Ferhi, A., Grieu, P. (1991). Sensitivity of leaf gas exchange to atmospheric drought, soil drought, and water-use efficiency in some Mediterranean *Abies* species. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(10), 1507-1515.

Hatton, T. J., & Evans, R. (1998). Dependence of ecosystems on groundwater and its significance to Australia. Canberra, ACT, LWRRDC.

Hernández, P. A., Padilla, G., Padrón, E., Pérez, N. M., Calvo, D., Nolasco, D., Melián, G., Barrancos, J., Dionis, S., Rodríguez, F., Sumino, H. (2012). Analysis of long- and short-term temporal variations of the diffuse CO₂ emission from Timanfaya volcano, Lanzarote, Canary Islands. *Applied geochemistry*, 27(12), 2486-2499.

Jódar-Abellán, A., Albaladejo-García, J. A., Fernández-Rodríguez, H. (2016). Análisis de la evolución y estado actual del parque nacional Las Tablas de Daimiel (Cuenca Alta del Guadiana, España). 13º Congreso Nacional de Medio Ambiente: Comunicación Técnica.

Kim, H., Huete, A.R., Nagler, P.N., Glenn, E., Emmerich, W., Scott, R.L. (2004). Monitoring riparian and semi-arid upland vegetation using vegetation and water indices from the MODIS satellite sensor. *Research Insights in Semiarid Ecosystems (RISE)*, Tucson: University of Arizona.

Lasanta-Martínez, T., Vicente-Serrano, S. M., Cuadrat-Prats, J. M. (2005). Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography*, 25(1), 47-65.

Liu, J.F., Chen, S.P. & Han, X.G. (2012). Modeling gross primary production of two steppes in Northern China using MODIS time series and climate data. *Procedia Environmental Sciences*, 13. 742-754.

Llorens, P., & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of hydrology*, 335(1-2), 37-54.

López-Carrasco, C., Hermosa, C., Roig, S.. (2016). Caracterización y diagnóstico de los pastos herbáceos en la dehesa del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel. *Innovación sostenible en pastos*, 339-344

López-Moreno, J. I., & Latron, J. (2008). Influence of canopy density on snow distribution in a temperate mountain range. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(1), 117-126.

Macias, M., Andreu, L., Bosch, O., Camarero, J. J., Gutiérrez, E. (2006). Increasing aridity is enhancing silver fir *Abies alba* mill.) water stress in its south-western distribution limit. *Climatic change*, 79(3), 289-313.

Martín-Esquivel, J.L. (2010). El Islote del Campo de Tiro de Montaña Bermeja. Canarias.

Los valores naturales de las propiedades del Ministerio de Defensa, 104-126.

Martín-Esquivel, J. L., Marrero-Gómez, M., Cubas, J., González-Mancebo, J. M., Olano, J. M., del Arco, M. (2020). Climate warming and introduced herbivores disrupt alpine plant community of an oceanic island (Tenerife, Canary Islands). *Plant Ecology*, 221(11), 1117-1131.

Martín-Esquivel, J.L., Marrero-Gómez, M.V., González Mancebo, J.M. (2021). Efectos del cambio climático en la vegetación de la alta montaña de Tenerife. *Ecosistemas*, 30

(1): 2189.

Masiliunas, D.; Tsendbazar, N.-E.; Herold, M.; Verbesselt, J. (2021). BFAST Lite: A Lightweight BreakDetection Method for Time Series Analysis. *Remote Sens.*, 13, 3308.

Montserrat P. (2009). La cultura que hace el paisaje: escritos de un naturalista sobre nuestros recursos de montaña. Ed. La Fertilidad de la Tierra. Estella, Navarra. 236 pp.

Murray, B. R., Hose, G. C., Eamus, D., Licari, D. (2006). Valuation of groundwater-dependent ecosystems: a functional methodology incorporating ecosystem services. *Australian Journal of Botany*, 54(2), 221-229

Murray, N. J., Keith, D. A., Bland, L. M., Ferrari, R., Lyons, M. B., Lucas, R., Pettorelli, N., Nicholson, E. (2018). The role of satellite remote sensing in structured ecosystem risk assessments. *Science of the Total Environment*, 619, 249-257

Nadal-Romero, E., Otal-Laín, I., Lasanta, T., Sánchez-Navarrete, P., Errea, P., Cammeraat,

E. (2018). Woody encroachment and soil carbon stocks in subalpine areas in the Central Spanish Pyrenees. *Science of the Total Environment*, 636, 727-736.

Nagendra H., Lucas R., Honrado J.P., Jongman R.H.G, Tarantino C., Adamo M., Mairota P. (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 33, 45-59.

Patel, N. R., Dadhwal, V. K., Saha, S. K., Garg, A., Sharma, N. (2010). Evaluation of MODIS data potential to infer water stress for wheat NPP estimation. *Tropical Ecology*, 51(1), 93.

Perera-Castro, A.V., Brito, P., González-Rodríguez, A.M. (2018). Changes in thermic limits and acclimation assessment for an alpine plant by chlorophyll fluorescence analysis: Fv/Fm vs. Rfd. *Photosynthetica*, 56, 527-536

Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Mucher, S. Dawson, T.P, .Fernandez, M.(2016). Framing the concept of Satellite Remote Sensing Essential Biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sens. Ecol. Conserv.*, 2, 122-131

Pettorelli, N., Schulte, T. Bühne, H., Tulloch, A., Dubois, G., Macinnis-Ng, C., Queirós, A. M., Keith, D.A., Wegmann, M., Schrod, F., Stellmes, M., Sonnenschein, R., Geller, G.N., Roy, S., Somers, B., Murray, N., Bland, L., Geijzendorffer, I., Kerr, J.T., Broszeit, S., Leitao, P.J., Duncan, C., El Serafy, G., He, K.S., Blanchard, J.L., Lucas, R.,

Mairota, P., Webb, T.J., Nicholson, E. (2017). Satellite remote sensing of ecosystem functions: opportunities, challenges and way forward. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 4(2): 71-93.

Requena-Mullor J.M., Reyes A., Escribano, P. (2018) Assessment of ecosystem functioning status from space: advancements in the Habitats Directive implementation. *Ecological Indicators*, 89, 893-902.

Robledano, R. S. (2015). La gestión del Parque Nacional de los Picos de Europa. Experiencias de seguimiento del Cambio Global en el mismo como integrante de la Red de Parques Nacionales de España.

Rubio-Cuadrado, A., Camarero, J., Rio, M., Sánchez-González, M., Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., Gil, L., Montes, F. (2018). Long-term impacts of drought on growth and forest dynamics in a temperate beech-oak-birch forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. 259. 48–59.

Sanmiguel-Valladolid, A., López-Moreno, J. I., Morán-Tejeda, E., Alonso-González, E., Navarro-Serrano, F. M., Rico, I., Camarero, J. J. (2020). Variable effects of forest canopies on snow processes in a valley of the central Spanish Pyrenees. *Hydrological Processes*, 34(10), 2247-2262.

Santamaría, L., Larrinaga, A.R., Latorre, L., Pericás, J. (2006). Herbívoros exóticos del Archipiélago de Cabrera: Bases para una estrategia de gestión basada en la minimización de impactos. *Proyectos de investigación en Parques Nacionales: 2003-2006*.

Santamaría, L., Molina, C., Rodríguez-Larrinaga, A., Guitián, P., Díaz-Delgado, R., Pérez-Espona, S. (2016). Estructura genética del sabinar costero en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera: Efectos históricos y contemporáneos. *Proyectos de Investigación en Parques Nacionales: 2012-2015*.

Vanegas, D.X., Xiao, X., Basara, J. (2014). Vegetation drought monitoring from MODIS imagery and soil moisture data in Oklahoma Mesonet sites. *Journal of Technology*, 13 (2): 10-27.

Vidal-Macua, J. J., Ninyerola, M., Zabala, A., Domingo-Marimon, C., Pons, X. (2017). Factors affecting forest dynamics in the Iberian Peninsula from 1987 to 2012. The role of topography and drought. *Forest Ecology and Management*, 406, 290-306.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., Culvenor, D. (2010a). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114, 106-115.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Zeileis, A., Culvenor, D. (2010b) Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sens. Environ.*, 114, 2970-2980.

Verbesselt, J., Zeileis, A. (2014). Tutorial I : Detecting a breakpoint in a time series, (2005), 1–8.

Wieser, G., Brito, P., Lorenzo, J. R., González-Rodríguez, Á. M., Morales, D., Jiménez, M. S. (2016). Canary Island pine (*Pinus canariensis*), an evergreen species in a semiarid treeline. In *Progress in Botany*, 77, 415-435

Xiangming, X., Boles, S., Jiyuan L., Zhuang, D., Frohling, S., Li, C., Salas, W., Moore, B. (2005). Mapping paddy rice agriculture in Southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote Sensing of Environment*, 95. 480-492.

Xiang, K., Yuan, W., Wang, L., Deng, Y. (2020). An LSWI-Based Method for Mapping Irrigated Areas in China Using Moderate-Resolution Satellite Data. *Remote Sensing*, 12(24), 4181.

Zamora, R., Pérez-Luque, A.J., Bonet, F.J., Barea-Azcón, J.M. y Aspizua, R. (Eds.). (2015). La huella del cambio global en Sierra Nevada: Retos para la conservación. *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía*. 208 pp.