



9CFE-1853

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1

Organiza





Aplicación de la teledetección para el estudio de perturbaciones en la vegetación del Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera

DE SIMÓN BAÑÓN, E. (1), CLOSA SALINAS, A.M. (1)

(1) Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Natural

Resumen

Los avances en teledetección permiten disponer cada vez con mayor asiduidad y definición de imágenes multiespectrales que extraen información de la superficie terrestre, posibilitando servicios como el seguimiento de los bosques, el cambio climático e incluso la gestión de desastres naturales. Las diferentes agencias espaciales distribuyen periódicamente multitud de imágenes satelitales, de sensores como Sentinel-2, Landsat y MODIS, para monitorizar la superficie de la tierra. Además, herramientas como Google Earth Engine facilitan el análisis y la visualización de estos conjuntos de datos geoespaciales. Para evaluar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, toda esta información puede ser categorizada y agrupada mediante la elaboración de índices, que se calculan por combinación de las diferentes bandas espectrales registradas. Este trabajo utiliza el índice de vegetación NDVI para detectar y caracterizar anomalías en la vegetación del Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera, como plagas, enfermedades, incendios o cambios en la salud de las plantas debido al estrés hídrico o climático. Estas anomalías pueden afectar a la biodiversidad y al equilibrio natural del Parque. Al monitorizar estos cambios, se pueden implementar medidas de gestión para mitigar los impactos negativos y preservar los hábitats.

Palabras clave

NDVI, Sentinel-2, Google Earth Engine, Parque Nacional de Cabrera.

1. Introducción

El Parque Nacional Marítimo-Terrestre del Archipiélago de Cabrera es un espacio protegido ubicado al sur de Mallorca, que incluye un conjunto de 19 islas e islotes junto con su entorno marino, conformando un total de 90.800 hectáreas tras su ampliación en 2019. El parque, declarado en 1991, es representativo del patrimonio natural mediterráneo y destaca por su alto valor ecológico, paisajístico y cultural. Sus ecosistemas terrestres y marinos albergan numerosas especies singulares y endémicas.

La gestión del parque se centra en conservar los ecosistemas y los valores culturales, regulando las actividades humanas para minimizar impactos y asegurar la sostenibilidad. Las presiones climáticas, junto con actividades humanas e impactos naturales, hacen necesaria una monitorización constante que permita evaluar el estado de los ecosistemas, detectar cambios y diseñar estrategias adaptativas que garanticen la conservación del parque frente a estos desafíos.

La teledetección ha surgido como una herramienta esencial para monitorear ecosistemas a gran escala. En el caso del Parque Nacional de Cabrera, el uso del



NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) permite analizar la salud y densidad de la vegetación, detectar anomalías y evaluar el impacto de perturbaciones como sequías, plagas e incluso la actividad antrópica. El estudio también busca cumplir con los objetivos del Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del parque, donde se promueve la restauración de biotas, la erradicación de especies invasoras y el seguimiento de la flora autóctona.

Este artículo pretende explorar cómo los avances en la tecnología satelital pueden integrarse eficazmente con las estrategias de conservación, destacando las posibles aplicaciones de la teledetección en la identificación de patrones de comportamiento de la vegetación y en la mitigación de impactos ambientales negativos.

2. Objetivos

Los objetivos de este trabajo son:

- Evaluar la vegetación del Parque Nacional mediante el índice NDVI, identificando tendencias temporales y anomalías en su distribución.
- Relacionar los patrones detectados con factores climáticos (precipitación, temperaturas extremas) y antrópicos (actividades humanas).
- Generar mapas de referencia para comparar con datos actuales y futuros, mejorando el conocimiento sobre los impactos del cambio climático.
- Proveer información para la toma de decisiones, enfocándose en restauración, mitigación de impactos y planificación de actuaciones.
- Fomentar una metodología replicable en otras áreas protegidas para evaluar ecosistemas con características similares.

Para alcanzar estos objetivos, se han realizado análisis espaciales y temporales detallados que consideran no solo las condiciones de la vegetación, sino también las interacciones entre los factores ecológicos y climáticos.

3. Metodología

El estudio ha utilizado una combinación de imágenes satelitales, procesamiento de datos y validación en campo para garantizar resultados confiables. A continuación, se detallan los pasos seguidos:

3.1. Selección de datos:

Sentinel-2 es una misión de imágenes multiespectrales de alta resolución y de amplia franja de cobertura que se encuentra dentro del programa de monitoreo terrestre Copernicus de la Unión Europea. Los objetivos de este programa son, entre otros, el monitoreo de la vegetación, el suelo y la cobertura de agua, así como la observación de vías navegables interiores y áreas costeras.

Se ha seleccionado la colección de imágenes “Sentinel-2 MSI armonizado: instrumento multiespectral, nivel 2A”, que ofrecen una resolución espacial de 10 metros en las bandas necesarias para el cálculo del NDVI. El producto Sentinel-2 nivel 2A proporciona imágenes de reflectancia de superficie (SR) corregidas atmosféricamente, derivadas de los productos asociados de nivel 1C (parte superior de la atmósfera). La corrección atmosférica de las imágenes Sentinel-2 incluye la corrección de la dispersión de las moléculas de aire (dispersión de Rayleigh), de los efectos de absorción y dispersión de los gases atmosféricos, en



particular el ozono, el oxígeno y el vapor de agua, y la corrección de la absorción y dispersión debidas a partículas de aerosol. También incluyen correcciones topográficas gracias al uso del modelo digital de elevaciones (MDE) de 90m de Copernicus. Los productos de nivel 2A se consideran productos ARD (*Analysis Ready Data*: Datos Listos para el Análisis).

El periodo de análisis es de abril de 2017 a diciembre de 2024, ya que la disponibilidad de los datos del nivel 2A de Sentinel-2 es desde el 28/03/2017.

3.2. Procesamiento de datos:

Google Earth Engine es una plataforma de computación geoespacial en la nube desarrollada por Google, que permite analizar y visualizar datos a escala global. Combina una extensa biblioteca de imágenes satelitales y datos geoespaciales con herramientas potentes de análisis y procesamiento. Es especialmente útil para aplicaciones como el monitoreo del cambio climático, la gestión de recursos naturales, la agricultura sostenible y la respuesta a desastres. Los usuarios pueden escribir código en JavaScript o Python para manipular datos, crear mapas, generar visualizaciones y realizar análisis avanzados, aprovechando la infraestructura de Google para un procesamiento rápido y eficiente.

Se han creado diferentes scripts en Google Earth Engine para obtener gráficos de evolución y mapas de anomalías del índice NDVI. Para la eliminación de nubes se ha aplicado un filtro para excluir píxeles afectados por cobertura nubosa utilizando los datos de probabilidad de nubes de Sentinel-2.

Los resultados se han obtenido para la islas e islotes de mayor tamaño del archipiélago: Cabrera, Illa des Conills y Na Rodona. Se ha aplicado un buffer interior de 30 metros de la línea de costa para evitar los efectos del borde en el análisis.

El índice NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) es un indicador que mide la salud y densidad de la vegetación mediante el análisis de la luz reflejada en diferentes longitudes de onda. Se calcula a partir de imágenes satelitales usando la fórmula: $(NIR - RED) / (NIR + RED)$, donde NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano y RED la reflectancia en el espectro rojo. Los valores del índice varían entre -1 y 1; valores cercanos a 1 indican vegetación densa y saludable, mientras que valores bajos o negativos corresponden a agua, suelo desnudo o áreas urbanas. En nuestro caso, se ha calculado a partir de las bandas infrarrojo cercano (B8) y rojo (B4) de Sentinel-2 mediante la fórmula $(B8 - B4) / (B8 + B4)$.

Cada imagen ha sido agrupada en una serie temporal para crear un promedio mensual y anual del índice. Este proceso permite construir una línea base para identificar desviaciones significativas.

3.3. Identificación de anomalías:

Las anomalías se han definido como desviaciones de las medias mensuales del año 2024 respecto a la media histórica del NDVI durante el periodo de referencia (2017-2023). Estas anomalías se clasificaron en tres niveles: leves (desviaciones menores al 10%), moderadas (entre 10% y 20%) y severas (mayores al 20%). Esta categorización facilita priorizar áreas críticas para intervención inmediata.

Se han creado gráficos con la evolución mensual de la media total del NDVI para



toda la superficie de estudio. De esta manera se pueden extraer patrones estacionales, tendencias a largo plazo y detectar anomalías. Estos gráficos son útiles para identificar periodos críticos de estrés ambiental o cambios en los patrones fenológicos de las plantas.

3.4. Mapeo espacial:

Se han generado mapas mensuales de anomalías en formato ráster y con una resolución espacial de 10 metros, asignando un código de colores para facilitar la interpretación visual. Estos mapas muestran la distribución de áreas con NDVI inferior al promedio esperado, resaltando zonas críticas con anomalías negativas elevadas. También se pueden observar las zonas cuya anomalía es positiva.

3.5. Validación en campo:

Se han llevado a cabo observaciones de campo en puntos clave para verificar los datos obtenidos mediante el procesamiento de los datos. Estas observaciones incluyeron evaluaciones visuales de cobertura vegetal, identificación de signos de estrés hídrico y registro de trabajos forestales realizados. Además, se utilizó un sistema de geoposicionamiento para validar las coordenadas de las áreas de análisis.

3.6. Análisis climático complementario:

Se han recopilado datos de las dos estaciones meteorológicas situadas en el Parque (AEMET y Balears Meteo), integrándolos al análisis para correlacionar variaciones del índice con eventos climáticos extremos. Este análisis permitió identificar correlaciones significativas entre periodos de sequía prolongada y disminuciones en los valores del NDVI.

3.7. Publicación de scripts:

Los scripts de Google Earth Engine que se han creado para el estudio se pueden consultar en los siguientes enlaces:

Mapa de anomalías:
<https://code.earthengine.google.com/be55373c56394e573df32540370cee16>

Gráfico de evolución:
<https://code.earthengine.google.com/f70c65703a4275239ee7a32995f8812e>

4.Resultados

Los resultados obtenidos son los siguientes:

4.1. Tendencias estacionales y anuales:

El gráfico con la evolución interanual de la media del NDVI para toda la superficie de estudio es el siguiente:

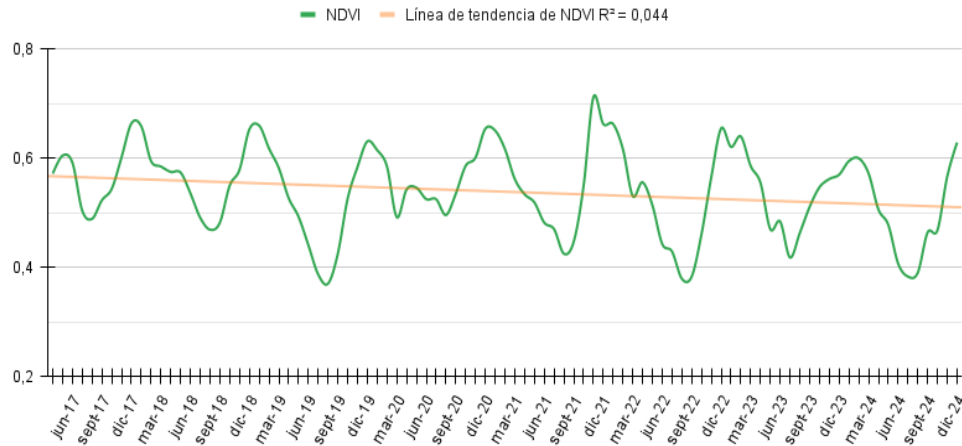


Figura 1. Gráfico de la evolución del índice NDVI para el periodo 2017-2024

Los valores del índice oscilan normalmente entre 0,4 en el periodo estival y 0,7 en el invernal. Los años con valores más bajos son 2019, 2022 y 2024, coincidiendo con eventos climáticos adversos prolongados, mientras que el año en el que se ha alcanzado mayor valor es 2021. El año 2020 muestra unos valores estivales elevados debido a altas precipitaciones durante la primavera. La línea de tendencia del índice en este periodo es descendente.

La recuperación de los valores durante el otoño evidencian la resiliencia del ecosistema a condiciones desfavorables. Los ciclos estacionales del NDVI confirman que la progresión del índice es ascendente en otoño y descendente en primavera. Durante el verano, se detecta normalmente una disminución significativa, atribuida a las altas temperaturas y la falta de precipitación.

En el siguiente gráfico se pueden ver los valores del año 2024 comparados con el promedio del periodo 2017-2023:

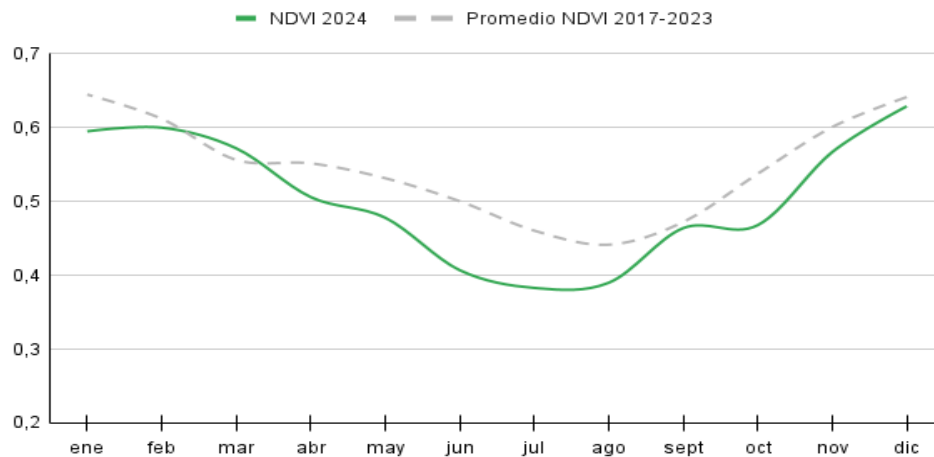


Figura 2. Gráfico del índice NDVI del año 2024

Como se observa, la anomalía mensual del 2024 respecto al periodo 2017-2023 es negativa todos los meses del año excepto en el mes de marzo. Enero, febrero, abril, septiembre, noviembre y diciembre presentan anomalía leve (0-10%); mayo, agosto y octubre tienen anomalía moderada (10-20%) y en junio y julio la anomalía es severa (>20%).

Si combinamos en un gráfico el NDVI del año 2024 y las lluvias recogidas en la

estación meteorológica de Balears Meteo localizada en la isla de Cabrera, se puede observar la correlación directa entre la disminución del NDVI y los periodos de sequía:

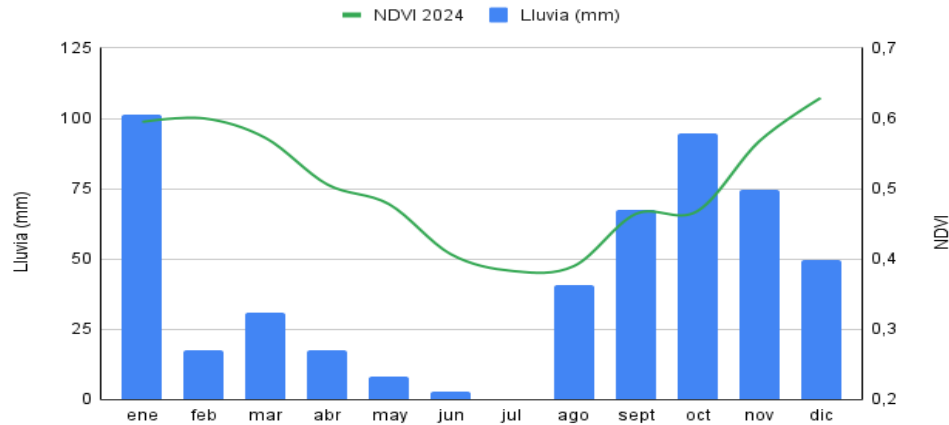


Figura 3. Gráfico del índice NDVI y lluvia en el año 2024

4.2. Mapas de anomalías:

Se han creado mapas mensuales de anomalías del índice NDVI del año 2024 respecto al periodo 2017-2023. El resultado es el siguiente:

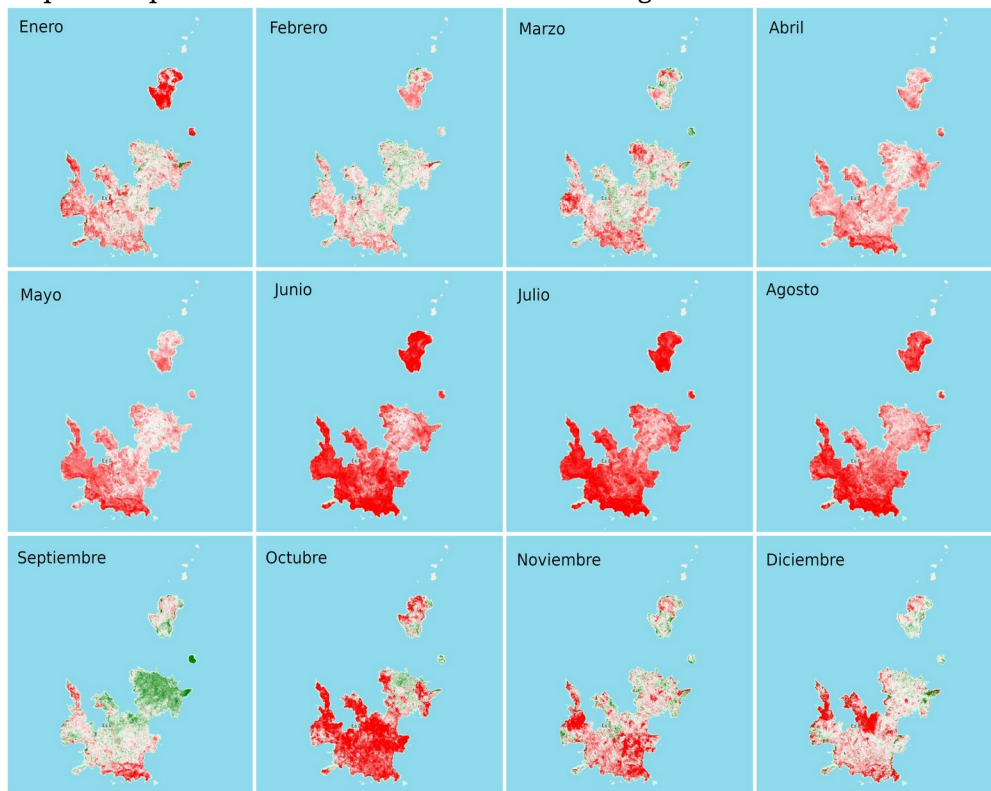


Figura 4. Mapas mensuales de anomalías del año 2024

En verde se representan los valores de anomalía positiva. Son zonas que indican mayor actividad fotosintética de lo esperado. Los valores obtenidos dependen del tipo de vegetación y de las condiciones climáticas (lluvias o temperaturas favorables).

Los valores de anomalía negativa se han dibujado en rojo. Reflejan un descenso en

la actividad fotosintética, asociada a estrés hídrico, calor extremo, o alteraciones en la vegetación vinculadas a trabajos forestales.

Los meses de mayo, junio, julio, agosto y octubre son los que presentan zonas mas extensas de anomalía negativa. Hay que destacar que esta evolución mensual no tiene que ver con la curva fenológica plasmada en los gráficos del índice NDVI, si no que representa la anomalía de cada mes respecto a la media del periodo 2017-2023.

Se han detectado algunas zonas lineales interiores con anomalías severas, asociadas a trabajos forestales de desbroce para prevención de incendios forestales que se han realizado en el mismo año, lo que pone de manifiesto la utilidad de estos mapas para localizar y cuantificar trabajos selvícolas.

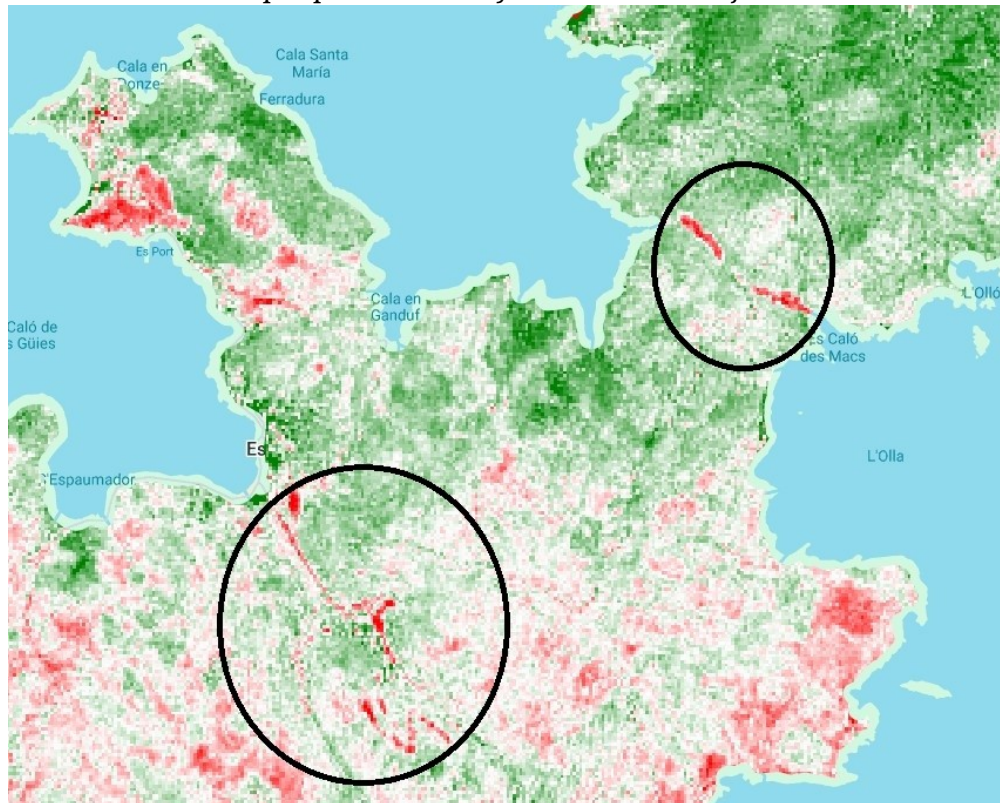


Figura 5. Mapa de anomalías asociadas a actividades humanas

5. Discusión

Los resultados destacan la capacidad del NDVI para identificar patrones críticos de deterioro en la vegetación. Las áreas con anomalías severas deben ser localizadas y estudiadas, especialmente aquellas ubicadas en zonas más sensibles. Además, la correlación entre los datos climáticos y las variaciones del NDVI refuerza la hipótesis de que el cambio climático es un factor determinante en la salud de la vegetación del Parque Nacional de Cabrera.

El uso de la teledetección para el monitoreo continuo permite identificar tendencias que no serían evidentes mediante métodos tradicionales. Sin embargo, es crucial complementar estos datos con observaciones de campo, especialmente en ecosistemas complejos donde factores locales pueden influir en la interpretación de los resultados.

Adicionalmente, la información obtenida respalda los objetivos en materia de



seguimiento del PRUG del Parque Nacional, como mantener una vigilancia permanente sobre la evolución de los sistemas naturales, recopilando la información precisa sobre las variables fundamentales que marcan esta evolución. De esta forma se consigue hacer más eficaz y facilitar la gestión del parque.

6. Conclusiones

Este estudio demuestra la eficacia del índice NDVI como herramienta para el monitoreo de la vegetación en áreas protegidas. La identificación de anomalías permite priorizar acciones de gestión y conservación, especialmente frente a eventos climáticos extremos que podrían intensificarse en el futuro. Además, el enfoque metodológico utilizado es replicable en otros contextos, contribuyendo a una gestión más informada y efectiva.

Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de integrar tecnologías avanzadas como la teledetección en las estrategias de conservación. Además, se resalta la importancia de coordinar esfuerzos para implementar medidas que garanticen la resiliencia del Parque Nacional de Cabrera frente a las amenazas ambientales actuales y futuras.

7. Bibliografía

European Space Agency. (2024). Sentinel-2 User Guide. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>

Google Earth Engine Developers. (2024). Earth Engine Data Catalog. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>

CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE; 2006. Decreto 58/2006, de 1 de julio, por el que se aprueba el plan rector de uso y gestión del Parque Nacional MarítimoTerrestre del Archipiélago de Cabrera, para el período 2006-2012. BOIB Núm. 97, 11 de julio de 2006.

HUETE, A. R., & JACKSON, R. D.; 1988. Soil and Atmosphere Influences on the Spectral Responses of Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295-309. doi:10.1016/0034-4257(88)90106-6

PETTORELLI, N., VIK, J. O., MYSTERUD, A., GAILLARD, J. M., TUCKER, C. J., & STENSETH, N. C.; 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. doi:10.1016/j.tree.2005.05.011

TUCKER, C. J.; 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0

TURNER, W. *et al.*; 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18(6): 306–314.

PEÑUELAS, J. *et al.*; 2013. Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere. *Global Change Biology*, 2013, DOI: 10.1111/gcb.12143

ROGAN, J. & CHEN, D.; 2004. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*, 61(4): 301–325.