

Geografía, cambio global y sostenibilidad. Comunicaciones del XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía

Tomo I
**Naturaleza, transformación
territorial y paisaje**



Geografía, cambio global y sostenibilidad. Comunicaciones del XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía

Tomo I
**Naturaleza, transformación
territorial y paisaje**

Título: Geografía, cambio global y sostenibilidad. Comunicaciones del XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía. Tomo I. Naturaleza, transformación territorial y paisaje

Ubicación y desarrollo del congreso: Ciudad de San Cristóbal de La Laguna (Tenerife), del 14 al 17 de diciembre de 2021

Edición: Asociación Española de Geografía, AGE y Departamento de Geografía e Historia de la Universidad de La Laguna

Editor: José-León García Rodríguez

Coordinadores: María del Carmen Díaz Rodríguez, Amalia Yanes Luque, Abel López Díez, Jaime Díaz Pacheco, Javier Dóniz Páez, Moisés Simancas Cruz, Israel García Cruz y Vicente M. Zapata Hernández

© De los autores

<https://xxvii.congresodegeografia.es>

Financiación: Área de Desarrollo Sostenible y Lucha Contra el Cambio Climático del Cabildo Insular de Tenerife

Diseño y maquetación: Javier Cabrera DG

DOI: <http://doi.org/10.25145/c.27.Asociacion.Geografia.2021.14>

ISBN: 978-84-123678-8-1

Índice de comunicaciones

Tomo I

Naturaleza, transformación territorial y paisaje

Introducción general: Geografía, cambio global y sostenibilidad 11

1.1 Actividad humana e impacto ambiental

(COM_1255_11) CONSECUENCIAS DE LOS CAMBIOS DE USOS DEL SUELO EN LA DINÁMICA NATURAL DE LOS SISTEMAS SEDIMENTARIOS EÓLICOS ÁRIDOS DE LAS ISLAS CANARIAS (ESPAÑA) 13

Néstor Marrero-Rodríguez, Leví García-Romero y Emma Pérez-Chacón Espino

(COM_1272_11) EL MAGNETISMO DE LOS ENCLAVES NATURALES COMO PROPICIADOR DE LOS ESPACIOS RURURBANOS EN LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO, CHILE 25

Víctor Jiménez Barrad y Javiara Larraín Suckel

(COM_1276_11) LAS LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS DE VISIBILIDAD EN EL ANÁLISIS DEL IMPACTO PAISAJÍSTICO. ESTUDIO DE CASO APLICADO A UNA POSIBLE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL PARQUE NACIONAL DEL TEIDE (TENERIFE, ESPAÑA) 43

Juan Israel García Cruz y Miguel Francisco Febles Ramírez

(COM_1286_11) APROXIMACIÓN A LA VALORACIÓN DEL COMPONENTE PAISAJÍSTICO EN LA OFERTA INMOBILIARIA EN ESPACIOS TURÍSTICOS LITORALES MEDITERRÁNEOS 65

Matías Mérida Rodríguez, Hugo Castro Noblejas y Darío Gumiel Muñoz

(COM_1305_11) RECURSOS PARA EL VOLCANO TURISMO EN LOS GEOSITIOS GLOBALES DE CANARIAS 83

Javier Dóniz Páez, Esther Beltrán Yanes, Rafael Becerra Ramírez y Nemesio Pérez Rodríguez

(COM_1308_11) HUMEDALES TEMPORALES DEL SUR DE CÓRDOBA: PROPUESTAS PARA LA CATALOGACIÓN Y PROTECCIÓN 95

Miguel Tierno-Galán, María Luisa Ramírez-López, Juan de la Cruz Merino y Rafael F. Vega-Pozuelo

(COM_1334_11) METODOLOGÍA PARA CARTOGRAFIAR Y CUANTIFICAR EL PAISAJE DEGRADADO INSULAR. APLICACIÓN A LA INTERFAZ URBANO-RURAL DE SANTA CRUZ DE TENERIFE 111

Miguel Ángel Mejías Vera y Víctor Manuel Romero Jiménez

(COM_1337_11) MERCANTILIZACIÓN O DERECHO A LA ISLA: PROTESTA CONTRA LA CONSTRUCCIÓN DE UN HOTEL EN LA TEJITA (GRANADILLA DE ABONA, TENERIFE) 129

Fernando Sabaté Bel y Alejandro Armas Díaz

(COM_1349_11) LA METROPOLIZACIÓN Y LOS CAMBIOS EN EL PAISAJE DEL TERRITORIO CÁNTABRO 143

Sara Lagüera Díaz

(COM_1360_11) ENFOQUE SOCIO-ECOLÓGICO PARA DELIMITAR LAS ZONAS COSTERAS Y MARINAS DE ANDALUCÍA	155
María de Andrés García, Juan Manuel Barragán Muñoz, Javier García Sanabria y Javier García Onetti	
(COM_1362_11) TRANSFORMACIONES SOCIO-ECOLÓGICAS EN SISTEMAS SEDIMENTARIOS COSTEROS EN LOS SIGLOS XX Y XXI: LOS CASOS DEL DELTA DEL LLOBREGAT (CATALUÑA) Y DE GUANARTEME (ISLAS CANARIAS)	171
Aarón Moisés Santana Cordero, Carla García Lozano, Francesc Xavier Roig-Munar y Josep Pintó	
(COM_1390_11) LA RENATURALIZACIÓN DEL RÍO MANZANARES EN LA CIUDAD DE MADRID. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y EFECTO SOBRE LAS AVES INVERNANTES	183
Pedro Molina Holgado, Íñigo Vicente Hernández, Fernando Allende Álvarez, Ana Belén Berrocal Menárguez y Lara Jendrzyczkowski Rieth	
(COM_1398_11) METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS POR NITRATOS EN ESPACIOS RURALES APLICACIÓN AL ACUÍFERO DE GALLOCANTA (ARAGÓN, ESPAÑA)	203
José María Orellana Macías, María Jesús Perles Roselló y Jesús Causapé Valenzuela	
(COM_1400_11) ACTIVIDADES MARÍTIMAS EN LAS ISLAS CANARIAS: EVALUANDO SUS PRESIONES ACUMULATIVAS SOBRE LOS ECOSISTEMAS MARINOS	215
Victor Cordero-Peñín, Andrej Abramic, Alejandro García y Ricardo Haroun Trabaue	
(COM_1410_11) EL PAPEL DE LA REGLA 30/30/30 EN LOS INCENDIOS FORESTALES. EL CASO DE LAS PROVINCIAS DE HUELVA Y SEVILLA	227
María del Pilar Díaz Cuevas y Natalia Limones Rodríguez	
(COM_1442_11) ESTRATEGIA DEL LÍMITE URBANO PARA CONTROLAR EL CRECIMIENTO URBANO: EL CASO DE LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO DE CHILE	243
Juan Pablo Schuster Olbrich, Carme Miralles-Guasch, Guillem Vich Callejo y Luis Fuentes Arce	
(COM_1458_11) CAPACIDAD DE CARGA TURÍSTICA DE LAS PLAYAS DEL PARQUE REGIONAL SALINAS Y ARENALES DE SAN PEDRO DEL PINATAR, SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA	257
Diana Hernández Mármol, Daniel Ibarra Marina, Pedro Escudero Lozano, Gustavo Ballesteros Pelegrín y Francisco Belmonte Serrato	
(COM_1462_11) LAS SEQUÍAS PLUVIOMÉTRICAS FLASH EN EL MUNDO	267
Natalia Limones y Pilar Díaz Cuevas	
(COM_1474_11) PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE SUPERFICIES SELLADAS MEDIANTE TELEDETECCIÓN: EL CASO DEL MUNICIPIO DE MAZARRÓN (MURCIA)	283
Emilio José Illán Fernández, Alfredo Pérez Morales y Asunción Romero Díaz	

1.2 Cambio global y emergencia climática

(COM_1274_12) VARIABILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN RÉGIMEN NATURAL DE LA PENÍNSULA IBÉRICA (1952-2017)	295
Amar Halifa-Marín, Miguel Ángel Torres-Vázquez, Marc Lemus-Cánovas, Pedro Jiménez-Guerrero y Juan Pedro Montávez	
(COM_1282_12) ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL EPISODIO DE LLUVIAS OROGRÁFICAS DEL 14 AL 19 DE NOVIEMBRE DE 2018 EN LA REGIÓN DE MURCIA	311
Juan Antonio Amor Jiménez, Javier Martí Talavera y Víctor Ruiz Álvarez	
(COM_1298_12) EFECTOS DEL CAMBIO GLOBAL EN EL PAISAJE ECOGEOMORFOLÓGICO DE DOS CUENCAS MEDITERRÁNEAS EN EL SUR DE ESPAÑA	323
José A. Silero Medina, Juan F. Martínez Murillo y José D. Ruiz Sinoga	

(COM_1303_12) MAPA DE ACTORES PARA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA DE LA CIUDAD DE VALENCIA Sergio Segura Calero y Guillermo Palau-Salvador	341
(COM_1389_12) ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO AGRARIO Y SU RELACIÓN CON LA EVOLUCIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL ÁMBITO MEDITERRÁNEO ANDALUZ DURANTE LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS (1991-2021) Federico B. Galacho-Jiménez, José D. Ruiz-Sinoga y José M. Senciales-González	353
(COM_1428_12) EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS SEQUÍAS EN LA CABECERA DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA (1940-2019) Víctor Ruiz Álvarez, Ramón García Marín y Francisco Belmonte Serrato	371
(COM_1460_12) LA CLASE DE GEOGRAFÍA EN TIEMPOS DE PANDEMIA DE LA COVID-19: EL CONOCIMIENTO GEOGRÁFICO EN LA EDUCACIÓN FORMAL Y LOS RETOS PARA LOS PROFESORES Verena Reinke	387
(COM_1461_12) ANÁLISIS COMPARADO DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE Y TEMPERATURA DEL AIRE DE LA ISLA DE CALOR URBANO DE ZARAGOZA Samuel Barrao Simorte, Roberto Serrano Notivoli, Miguel Ángel Sanz Sánchez y José María Cuadrat Prats	399
(COM_1481_12) EL GLACIARISMO CUATERNARIO DE LAS SIERRAS DE ANCARES, COUREL Y RAÑADOIRO, Y DE LOS MONTES DE ORIBIO: UNA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Benjamín González Díaz, Jesús Ruiz Fernández y Augusto Pérez Alberti	417
(COM_1518_12) ESTRUCTURAS ESPACIALES URBANAS Y EMISIONES DE CO ₂ : UN ANÁLISIS EMPÍRICO EN LAS CIUDADES DE SIETE PAÍSES LATINOAMERICANOS Rafael Van der Borgh y Montserrat Pallarès Barberà	431
 1.3 Recursos, riesgos y estrategias de adaptación y recuperación	
(COM_1251_13) LA DESALINIZACIÓN Y LA DEPURACIÓN COMO FUNDAMENTOS DEL NUEVO CICLO DEL AGUA EN LAS ISLAS CANARIAS José-León García Rodríguez	445
(COM_1266_13) ORDENAR EL TERRITORIO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. RECUPERACIÓN DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN, DERIVACIÓN Y ACUMULACIÓN DE PLUVIALES Encarnación Gil-Meseguer y José María Gómez-Espín	463
(COM_1316_13) POTENCIALIDAD DE LA GENERACIÓN DE ÍNDICES DE CAMBIO ESTRUCTURAL MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE MÉTRICAS LIDAR PRE Y POST INCENDIO PARA EL ANÁLISIS DE LA SEVERIDAD EN BOSQUES DE <i>PINUS CANARIENSIS</i> Eduardo Martínez Díaz, María Teresa Lamelas Gracia y Antonio Luis Montealegre Gracia	477
(COM_133_13) ANÁLISIS DE LA TRANSFORMACIÓN TERRITORIAL EN LA RAMBLA DE CASTELLAR (CREVILLEN, ALICANTE) Antonio Vicente Galván Vicente, Esther Sánchez Almodóvar y Javier Martí Talavera	489
(COM_1393_13) SELECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE ESPECTRORRADIOMETRÍA PARA EL MODELADO PREDICTIVO DE VARIABLES EDÁFICAS EN SIERRA DE LAS NIEVES: UNA APROXIMACIÓN DESDE EL MACHINE LEARNING Francisco M. Canero, Víctor F. Rodríguez Gallano, David Aragonés y Miguel A. García Pérez	509
(COM_1431_13) LA CONTINUIDAD FORESTAL COMO DESAFÍO A LOS INCENDIOS EN LAS COMARCAS DE MONTAÑA DE CATALUÑA (1993-2018) Anna Badia	523

(COM_1436_13) EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SANTA CRUZ DE TENERIFE 539

Abel López Díez, Jaime Díaz Pacheco, Daniella Ghersi Da Gama, Pedro Dorta Antequera y Nerea Martín Raya

(COM_1489_13) ESTIMACIONES DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS COSTEROS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO EN CANARIAS 555

Nicolás Ferrer Valero y Gustavo Herrera de Lamo

(COM_1512_13) DESAFÍOS Y RIESGOS DEL PAISAJE ATERRAZADO EN UN CONTEXTO DE CAMBIO GLOBAL: GRAN CANARIA (CANARIAS) Y LA MARINA BAIXA (COMUNIDAD VALENCIANA), ESPAÑA 567

Sabina Asins Vells, Ascensión Padilla Blanco y Lidia Esther Romero Martín

1.4 Medio natural, biodiversidad y paisaje

(COM_1254_14) LA DIVERSIDAD DEL GÉNERO *ROSA L.* EN LAS VÍAS PECUARIAS Y CAMINOS RURALES DE LA RAMPA MERIDIONAL DEL SISTEMA CENTRAL. ANÁLISIS DE CASOS 583

Pedro Molina Holgado, Fernando Allende Álvarez, Alfredo Ortega Morejón, Nieves López Estébanez y Miguel del Corro Toro

(COM_1271_14) ANÁLISIS DE LA FILIACIÓN COROLÓGICA DE LOS TAXONES DE LAS DEHESAS Y EL MONTE MEDITERRÁNEO DE LA PROVINCIA DE CIUDAD REAL 599

María Cristina Díaz Sanz y Pedro José Lozano Valencia

(COM_1278_14) LAS DEPURADORAS DE LAGUNAJE, LUGARES ALTERNATIVOS DE REPRODUCCIÓN PARA LAS AVES ACUÁTICAS ANTE LA CRISIS CLIMÁTICA: UN ESTUDIO EN LA PROVINCIA DE TOLEDO (ESPAÑA CENTRAL) 615

Tomás Velasco Tejada, Pedro Molina Holgado, Fernando Allende Álvarez y Nieves López Estébanez

(COM_1300_14) LAS TURBERAS DE LA CORDILLERA DE TALAMANCA (COSTA RICA): DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y GESTIÓN 633

Frank González Brenes, Yazmín León Alfaro y Nieves López Estébanez

(COM_1306_14) LOCALIZACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA EL MONITOREO FENOLÓGICO DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO 651

David Aragonés, Víctor F. Rodríguez-Gallano y Marco A. Espinoza-Guzmán

(COM_1307_14) VALORACIÓN BIOGEOGRÁFICA DEL ROBLEDAL DE *QUERCUS PETRAEA* DEL MONCAYO A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA LANBIOEVA 663

Pedro José Lozano Valencia, María Cristina Díaz Sanz y Asier Lozano Fernández

(COM_1326_14) VALORACIÓN ZOOGEOGRÁFICA DE LA FAUNA VERTEBRADA DEL PAISAJE DE BOCAGE DE SANTIAGOMENDI (ASTIGARRAGA-GIPUZKOA) 681

Pedro J. Lozano Valencia, Asier Lozano Fernández, Rake! Varela Ona y Guillermo Meaza Rodríguez

(COM_1328_14) ANÁLISIS MULTIPROXY PARA LA RECONSTRUCCIÓN PALEOBIOGEOGRÁFICA DE LOS BOSQUES DE LA SERRANÍA DE RONDA (CORDILLERA BÉTICA, ESPAÑA) 697

Rubén Pardo Martínez, José Antonio Olmedo Cobo, José Gómez Zotano y Francisca Alba Sánchez

(COM_1347_14) EL USO DE MÉTODOS MORFOMÉTRICOS CUANTITATIVOS INDIRECTOS EN EL ESTUDIO DE LAS BASES GEOMORFOLÓGICAS DE LOS PAISAJES NATURALES EN ÁMBITOS MONTAÑOSOS. CASO DE ESTUDIO EN LA SIERRA DE GUADARRAMA 715

Roberto García Esteban

(COM_1367_14) DISEÑO DE CORREDOR BIOLÓGICO PARA EL YAGUARETÉ (*PANTHERA ONCA*) EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL CHACO (PARAGUAY) 733

Monserrat García-Calabrese, Diana Paiva Galeano, Víctor Fariña Gonzales y Griselda Zarate-Betzel

(COM_1368_14) CARACTERIZACIÓN DE UN ÁREA DE PINAR DE LA SIERRA DE SALINAS (ALICANTE, ESPAÑA) MEDIANTE EL MÉTODO DE INVENTARIO DE FANERÓFITOS Y CAMÉFITOS Ana María Merenciano González y María Ascensión Padilla Blanco	751
(COM_1399_14) CARACTERIZACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LA FRANJA LITORAL DE LA ISLA DE AROUSA (PONTEVEDRA) Daniel Cajade Pascual, Ramón Blanco-Chao y Manuela Costa Casais	769
(COM_1449_14) EL PLAN DE PAISAJE Y ZONA TAMPÓN DEL BIEN PIRINEOS-MONTE PERDIDO Paloma Ibarra Benlloch y Elena Villagrasa Ferrer	783
(COM_1485_14) ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA DEL MONTEVERDE EN EL ENTORNO DEL PARQUE NACIONAL DE GARAJONAY EN LA ISLA DE LA GOMERA (ISLAS CANARIAS), ENFOCADA A LA ORDENACIÓN DE LOS APROVECHAMIENTOS FORESTALES Jesús Parada Díaz, Ángel Fernández López, Luis Gómez y Juana María González Mancebo	801
(COM_1486_14) REINTERPRETANDO LAS ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS DESDE LA ECOLOGÍA POLÍTICA: ¿ES LA NORMATIVA SOBRE EL EUCALIPTO EN GALICIA Y LA ESPAÑA OBSOLETA? Diego Cidrás	817
(COM_1505_14) EL ESTUDIO DEL PAISAJE Y SU RELACIÓN CON EL PATRIMONIO CAMINERO DE TENERIFE José Juan Cano Delgado	827
(COM_1516_14) TRANSECTO PEDOANTRACOLÓGICO EN EL MACIZO ASTURIANO: PRIMEROS RESULTADOS SOBRE LA EVOLUCIÓN DEL PAISAJE VEGETAL Salvador Beato Bergua, Raquel Cunill Artigas, Salvia García Álvarez, José Luis Marino Alfonso, Miguel Ángel Poblete Piedrabuena y Carmen Rodríguez Pérez	843
(COM_1456_14) CARTOGRAFÍA DE PRADERAS MARINAS EN PLAYAS SUMERGIDAS DEL MEDITERRÁNEO, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL E IMÁGENES DE SATELITE MULTIESPECTRALES Pedro Escudero Lozano, Daniel Ibarra Marinas, Diana Hernández Mármol, Gustavo Ballesteros Pelegrín y Álvaro Jara Nicolás	855

CARTOGRAFÍA DE PRADERAS MARINAS EN PLAYAS SUMERGIDAS DEL MEDITERRÁNEO, UTILIZANDO ALGORITMOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL E IMÁGENES DE SATÉLITE MULTIESPECTRALES

Pedro Escudero Lozano, pedro.escudero@um.es

Daniel Ibarra Marinas, adaniel.ibarra@um.es

Diana Hernández Mármol, diana.h.m@um.es

Gustavo Ballesteros Pelegrín, gabp1@um.es

Álvaro Jara Nicolás, alvaro.jaran@um.es

Departamento de Geografía, Universidad de Murcia

Resumen

Las praderas marinas desempeñan un rol fundamental en los ecosistemas marinos. Toman parte en las dinámicas del carbono, oxígeno y nutrientes de la columna de agua, además, suponen una barrera contra la erosión costera disipando la energía del oleaje y estabilizando el sustrato arenoso. El objetivo de este trabajo ha sido la localización de praderas de *Posidonia oceanica* en la playa de la Llana (San Pedro del Pinatar, Región de Murcia); una playa disipativa con una batimetría suave ubicada en el Parque Regional Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar. Para ello, se han empleado imágenes multiespectrales del satélite Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA), mediante algoritmos de Inteligencia Artificial, concretamente *Machine Learning*. Se han obtenido clasificaciones de los fondos marinos a partir de la información contenida en las imágenes satelitales y muestreos sobre tipos de fondos marinos. Los resultados muestran una reducción de la extensión de las praderas de *Posidonia oceanica*, sobre todo cercanas al puerto, en favor del aumento de las especies de algas que conforman el grupo 'Algas fotófilas infralitorales'.

Palabras clave: Fondos marinos, *Posidonia oceanica*, Teledetección, Inteligencia Artificial, *Random Forest*, Índice de profundidad invariante

Abstract

Seagrasses play a fundamental role in marine ecosystems. They play a role in the dynamics of carbon, oxygen and nutrients in the water column, as well as acting as a barrier against coastal erosion by dissipating wave energy and stabilising the sandy substrate. The aim of this study was to locate *Posidonia oceanica* meadows on La Llana beach (San Pedro del Pinatar, Region of Murcia); a dissipative beach with a gentle bathymetry located in the Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar Regional Park. For this purpose, multispectral images from the Sentinel-2 satellite of the European

Space Agency (ESA) have been used. Using Artificial Intelligence algorithms, specifically Machine Learning, classifications of the seabed have been obtained from the information contained in the satellite images and samples of seabed types. The results show a reduction in the extent of *Posidonia oceanica* meadows, especially near the port, in favour of an increase in the algae species that make up the 'photophilous infralittoral algae' group.

Keywords: Sea beds, *Posidonia oceanica*, Remote sensing, Artificial Intelligence, *Random Forest*, Depth invariant index

1. INTRODUCCIÓN

Las praderas marinas son indicadores ambientales, alertan sobre el estado del agua pues son sensibles a cambios de temperatura y turbidez. Son sumideros de carbono y tienen una gran biodiversidad e interacciones naturales asociadas. Además, protegen frente a los temporales marinos suavizando sus efectos tanto en la parte sumergida como en tierra (Marbá y Duarte, 2010). Las praderas de *Posidonia oceanica* constituyen el hábitat prioritario 1120* (Directiva Hábitats), por otra parte, se incluyen en la Lista Roja de Especies Amenazadas como 'Casi amenazada', los Convenios Internacionales de Barcelona y Berna (1975 y 1979 respectivamente) y la Lista de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial (Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad), además de ser parte de la Red Natura 2000 como Zona Especial de Conservación (ZEC). Debido a su alto interés e impactos, se adhiere a la legislación europea y española, por ejemplo, el Reglamento CE núm 1967/2006 prohíbe la pesca de arrastre sobre las zonas con presencia de *Posidonia oceanica*. Por todo ello, se considera crucial disponer de una cartografía actualizada sobre la localización, extensión y estado de las mismas.

Existen programas de cartografía de praderas marinas, destacando las Ecocartografías (utilizadas como cartografía de referencia) hasta el año 2018. No obstante, se trata de proyectos amplios y costosos, por ejemplo, la Ecocartografía del litoral de las provincias de Almería, Granada y Murcia se elaboró con un presupuesto de 2.567.207€ durante los años 2008 y 2009 (MITECO, 2009).

Por otra parte, existen métodos para la clasificación del fondo marino mediante Teledetección (Hafizt *et al.* 2017). No obstante, existen limitaciones relacionadas con la distorsión generada por las superficies acuáticas en la captación de la energía electromagnética por parte de un sensor (*sun glint*) y la absorción en la columna de agua, además del efecto de la atmósfera. De esta manera, la clasificación del fondo marino requiere de una gran carga de procesamiento con mayores errores asociados a profundidades mayores de 10 metros (González *et al.*, 2013).

El presente trabajo consiste en una clasificación de fondos marinos para identificar, entre los de arena y rocas, las praderas marinas con el objetivo de realizar una cartografía sobre la ubicación, extensión y estado de estas. Combina datos procedentes de muestreos mediante inmersiones de buceo (Puntos extraídos con GPS aso-

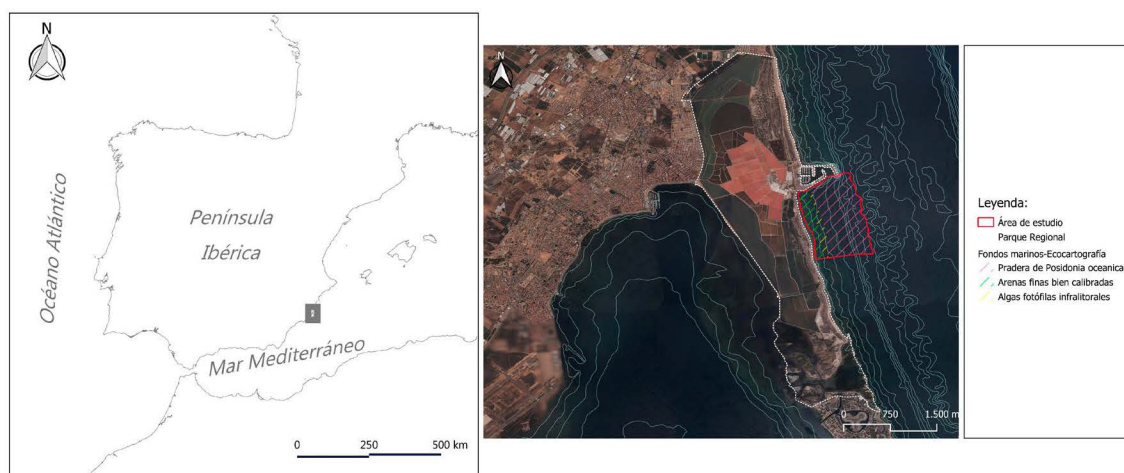
ciados a distintos tipos de fondos marinos) con información de imágenes de satélite multiespectrales y bases cartográficas de referencia. La Teledetección tiene un papel protagonista por las herramientas, material y métodos empleados en este proyecto. Mediante algoritmos de inteligencia artificial (*Machine Learning*), se pretenden obtener clasificaciones basadas en ratios sobre la información de las imágenes de satélite multiespectrales asociada a los muestreos y la cartografía de referencia.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La playa de la Llana se encuentra situada en el extremo norte de la restinga de la Manga del Mar Menor, formando parte del Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar, entre los municipios de San Javier y San Pedro del Pinatar (Figura 1). Se trata de una playa disipativa, con una morfología fundamentalmente bidimensional y una batimetría poco pronunciada. Concretamente se han seleccionado los fondos marinos de entre 1 y 10 metros de profundidad, seleccionado tres fondos marinos principalmente:

- Arenas finas bien calibradas. Estos fondos suelen ocupar voluminosas extensiones entre los 5 y los 20 metros de profundidad, siendo remarcable la ausencia de algas y el predominio de diversas especies de peces, moluscos, crustáceos y equinodermos.
- Algas fotófilas infralitorales. Ocupan la zona de transición entre las arenas finas y las praderas de *Posidonia oceanica* aprovechando la elevada iluminación.
- Praderas de *Posidonia oceanica*. Principalmente sobre sustratos arenosos blandos.

Figura 1. Localización del área de estudio sobre imagen del Plan Nacional de Teledetección, 2018.



3. METODOLOGÍA

3.1 Preprocesamiento

El preprocesamiento de las imágenes de satélite es fundamental para la obtención de resultados. Comienza con la reducción de las imágenes de satélite al área estudiada y su posicionamiento geográfico o georreferenciación para, posteriormente, corregir las alteraciones producidas por el efecto de la atmósfera y la naturaleza de la superficie captada en la radiación, en este caso, el mar.

3.1.1 Corrección atmosférica

sen2r es un paquete del software R específico para Teledetección. Permite seleccionar, descargar, preprocesar y visualizar imágenes del satélite Sentinel-2 (Ranghetti et al., 2020). Se ha utilizado esta herramienta para acometer la fase inicial del flujo de datos en un proyecto de Teledetección: Descarga y corrección atmosférica de las imágenes de satélite, además de su integración en un entorno informático estandarizado que permita la manipulación y análisis de la información. Se destacan las principales funciones del paquete *sen2r* empleadas (Tabla 1):

Tabla 1. Principales funciones del paquete *sen2r* empleadas

Funciones	Resultado
<i>time_window</i>	Intervalo temporal seleccionado para la descarga de las imágenes de satélite
<i>s2_download</i>	Descarga de las imágenes de satélite disponibles para el intervalo temporal seleccionado con un nivel de procesamiento L1C
<i>sen2cor</i>	Obtención de las imágenes de satélite preprocesadas L2A

3.1.2 Sunlint

Para remover el *sunlint*, efecto de distorsión causado por las superficies acuáticas en la captación de energía electromagnética por un sensor, se ha utilizado el algoritmo de Goodman (Goodman et al., 2008), modificado mediante las constantes de Lee (Lee et al., 1999) por Streher (Streher et al., 2013). De esta manera, se emplearon las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}
 1) R_{rs}^{\square}(\lambda) &= R_{rs}^{raw}(\lambda) - R_{rs}^{raw}(750\text{nm}) + \Delta \\
 2) \Delta &= 0,000019 + 0,1 [R_{rs}^{raw}(640\text{nm}) - R_{rs}^{raw}(750\text{nm})]
 \end{aligned}$$

Donde $R_{rs}^{raw}(\lambda)$ es la reflectividad de cada una de las bandas, $R_{rs}^{raw}(750)$ del canal infrarrojo cercano y $R_{rs}^{raw}(640)$ del canal rojo.

3.1.3 Cálculo de la reflectividad del fondo marino

Para el cálculo de la reflectividad del fondo marino se ha empleado el índice de profundidad invariante o *Depth invariant index* (Lyzenga, 1978). Consiste en remover el efecto de la columna de agua sobre la energía electromagnética mediante el cálculo de coeficientes de atenuación entre dos bandas y la aplicación de fórmulas. Cálculo del índice de profundidad invariante según Ciruolo (Ciruolo et al., 2006):

$$1) X_i = \log_{10}(L_i(\lambda_i))$$

$$2) X_j = \log_{10}(L_j(\lambda_j))$$

Donde $L_i(\lambda_i)$ y $L_j(\lambda_j)$ es la reflectividad correspondiente a dos bandas empleadas para el cálculo del índice.

$$3) \hat{\sigma} = \frac{\text{var}(X_i) - \text{var}(X_j)}{2 * (\text{cov}(X_i, X_j))}$$

$$4) K_{ij} = \hat{\sigma} + \sqrt{\hat{\sigma}^2 + 1}$$

Donde K_{ij} es el coeficiente de atenuación entre las bandas empleadas.

$$5) I_{ij} = X_i - (K_{ij} * X_j)$$

Donde I_{ij} es el índice de profundidad invariante calculado sobre las dos bandas empleadas.

Para la selección de las parejas de bandas se ha utilizado el criterio de mayor correlación entre ellas (Tabla 2). Por otra parte, aquellas de rango mayor a 0.75 nm (fuera del espectro visible) se descartaron debido a la alta absorbancia de la columna de agua sobre estas.

Tabla 2. Matriz de correlación entre las bandas seleccionadas sobre el área de estudio

	Canal azul	Canal verde	Canal rojo	Infrarrojo cercano
Canal azul	1.0000000	0.9690909	0.8747249	0.5815327
Canal verde	0.9690909	1.0000000	0.9384341	0.5510165
Canal rojo	0.8747249	0.9384341	1.0000000	0.5115412
Infrarrojo cercano	0.5815327	0.5510165	0.5115412	1.0000000

3.2 Análisis

Tras la eliminación de los efectos de distorsión sobre la energía electromagnética por parte de la atmósfera, la superficie marina y la columna de agua, es posible crear clasificaciones sobre tipos de fondos marinos a raíz de su signatura espectral.

3.2.1 Toma de datos en campo

La clasificación de las imágenes de satélite mediante algoritmos de aprendizaje supervisado y la validación de los resultados requieren de un conjunto de datos observados. De esta manera, se realizó un muestreo con GPS (30 puntos) en inmersiones de buceo sobre tipos de fondo marino, geolocalizando fondos de arena y praderas marinas. Esta parte del trabajo ha permitido avalar los resultados obtenidos por medio de la teledetección.

3.2.2 Machine Learning

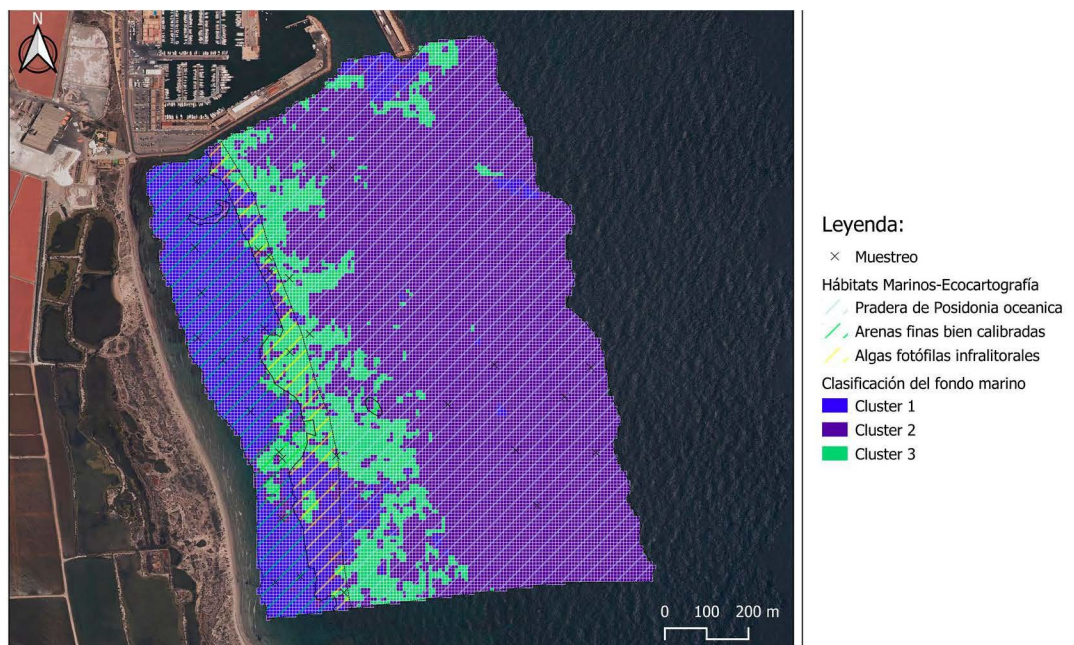
K-means clustering es un algoritmo de clasificación-aprendizaje no supervisado que agrupa la información en k grupos o clusters (especificados por el autor) a partir de medias cuadráticas sobre la distancia entre los objetos del conjunto de datos (*Iterative Minimum Distance*) (Forgy, 1965), o mediante el reconocimiento de patrones y reordenamiento de la información (*Hill-Climbing*) (Rubin, 1967). Para la clasificación del fondo marino con *K-means clustering* se establecieron dos grupos de clasificación, además de utilizar los algoritmos *Iterative Minimum Distance* y *Hill-Climbing* de manera combinada sobre los índices de profundidad invariante.

Random Forest es un algoritmo de clasificación-aprendizaje supervisado no paramétrico basado en árboles de decisión (Breiman, 2001). Consiste en el trazado de predictores asociados a un muestreo aleatorio y datos de entrenamiento que generan una clasificación a partir de los resultados de las interacciones entre los predictores y el conjunto de la información. Por otra parte, existen numerosos métodos para la validación del modelo, destacando *Cross-validation* o Validación cruzada por su rapidez de computación. Consiste en la fragmentación de los datos de entrenamiento en dos subconjuntos sobre los que repetir el modelo, obteniendo como resultado el promedio de los errores cometidos. De esta manera, para la clasificación del fondo marino con *Random Forest* se han seleccionado 20 puntos del muestreo tomado en campo como datos de entrenamiento y 10 para la validación mediante Validación cruzada.

4. RESULTADOS

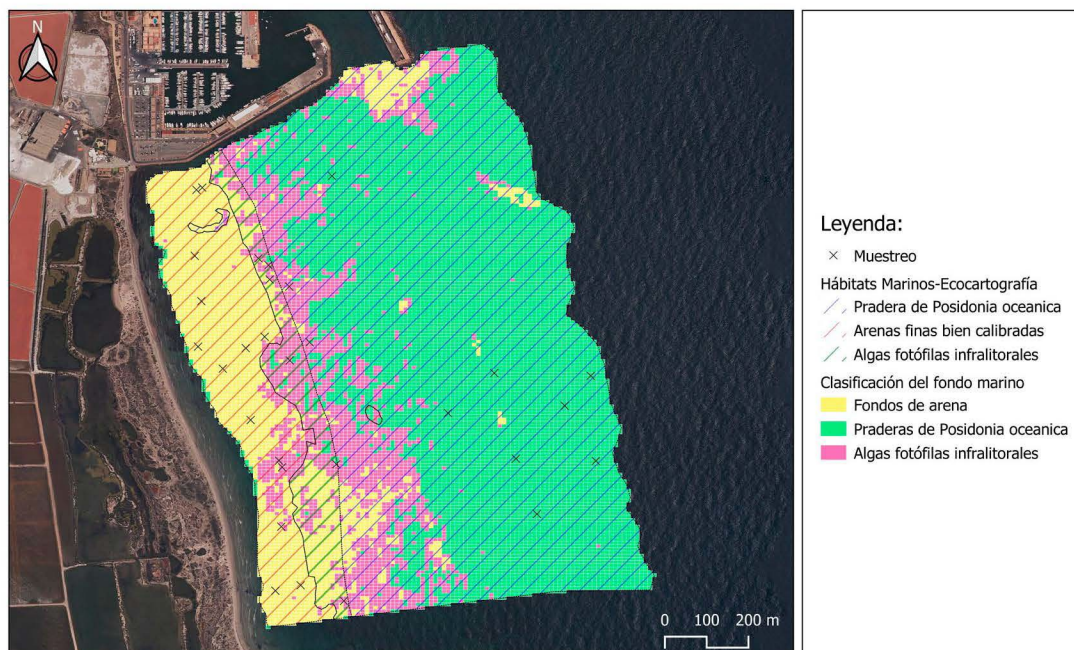
Se ha obtenido una clasificación de los tipos de fondo marino mediante algoritmos de aprendizaje no supervisado; *K-means clustering*, y supervisado; *Random Forest* (Figuras 2 y 3). Por otra parte, se calcularon las áreas de cada tipo de fondo marino sobre dichas clasificaciones además de la cartografía de referencia de 2018, para observar su evolución (Tabla 3). Finalmente, se realizó el cálculo de los intervalos de confianza sobre la clasificación con *Random Forest* mediante validación cruzada para obtener la precisión del modelo (Figura 4).

Figura 2. Clasificación del fondo marino obtenida mediante clasificación no supervisada



De esta manera, se observan 3 agrupamientos o *clusters* identificados mediante la clasificación no supervisada con *K-means clustering*.

Figura 3. Clasificación del fondo marino obtenida mediante clasificación supervisada



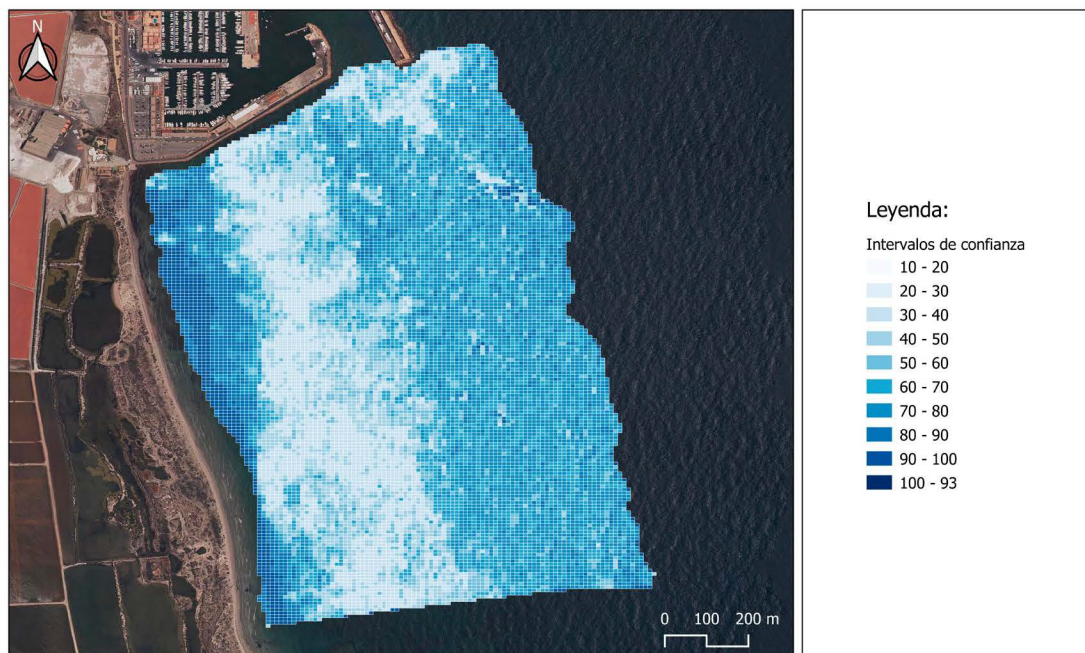
Por otra parte, tras la clasificación supervisada del fondo marino se observa la distribución de menor a mayor profundidad, respectivamente, de fondos de arena, algas fotófilas infralitorales y praderas de *Posidonia oceanica*.

Tabla 3. Cálculo de las áreas (hectáreas) de los tipos de fondos marinos obtenidos mediante las clasificaciones y la cartografía de referencia

Tipos de fondos marinos	<i>K-means clustering</i>	<i>Random Forest</i>	Cartografía de referencia
Cluster 1//Fondos de arena	26,436	29,937	22,920
Cluster 2//Praderas de Posidonia oceanica	94,330	87,034	109,449
Cluster 3//Algas fotófilas infralitorales	21,537	25,326	9,880

El análisis de las áreas muestra una clara reducción de las praderas de *Posidonia oceanica* en favor del crecimiento de las Algas fotófilas infralitorales sobre el intervalo temporal 2018-2020. Respecto a los fondos arenosos, debido a su naturaleza más estática, puede considerarse que han permanecido inalterados.

Figura 4. Intervalos de confianza para la clasificación realizada mediante clasificación supervisada



Finalmente, el análisis y obtención de los intervalos de confianza sobre la clasificación realizada con *Random Forest* señala valores altos (más del 80% de confianza) sobre la clasificación de las praderas de *Posidonia oceanica* y los fondos arenosos, no obstante, las Algas fotófilas infralitorales presentan valores bajos (entre 20 y 50%).

5. CONCLUSIONES

La metodología empleada para la clasificación del fondo marino presenta como principales ventajas, las propias de la Teledetección, es decir, continua disponibilidad de información y herramientas de manera gratuita (herramientas y fuentes de información *Open*), además de la posibilidad de analizar vastas extensiones de terreno mediante procedimientos informáticos, solamente dependiendo en este caso de la realización de inmersiones de buceo para obtener muestreos geolocalizados. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones a la hora del análisis de las imágenes de satélite relacionadas con los efectos de distorsión generados por las masas de agua, además de la atmósfera, sobre la energía electromagnética. De esta manera, realizar esta metodología para profundidades mayores de 10m conlleva la asunción mayores errores. Finalmente, cabe destacar la similitud entre los resultados obtenidos mediante los algoritmos *K-means* y *Random Forest*, además de la cartografía de referencia, siendo este un indicador de la veracidad de la clasificación efectuada. No obstante, el bajo intervalo de confianza obtenido sobre la clasificación supervisada y el tipo de fondo marino ‘Algas fotófilas infralitorales’ y su mayor diferencia con la cartografía de referencia y los datos observados en inmersiones de buceo, atiende a la diferente naturaleza de especies que conforman estos mosaicos. Por otra parte, la reducción en extensión de las praderas de *Posidonia oceanica* revela los impactos a los que está sometida, sobre todo por la influencia del puerto, dejando espacio para la colonización de las especies que las Algas fotófilas infralitorales.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la cofinanciación de la Unión Europea a través del proyecto LIFE17/ES/000184, Conservación de los hábitats y aves acuáticas en el LIC y ZEPA ES0000175 “Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar” (LIFE-SALINAS).

7. BIBLIOGRAFÍA

- RANGHETTI, L., BOSCHETTI, M., NUTINI, F., Busetto, L. (2020). “sen2r”: An R toolbox for automatically downloading and preprocessing Sentinel-2 satellite data. *Computers & Geosciences*, 139. DOI 10.1016
- GOODMAN, J.A.; LEE, Z.; USTIN, S.L. (2008.) Influence of Atmospheric and Sea-Surface Corrections on Retrieval of Bottom Depth and Reflectance Using a Semi-Analytical Model: A Case Study in Kaneohe Bay, Hawaii. *Applied Optics*, 47, F1-F11,
- SUSIN-STREHER, A., GOODMAN, J., GALVÃO, L., FARIA-BARBOSA, C.C., FREIRE-SILVA, T.S., LEÃO DE MORAES-NOVO, E.M. (2013), Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE