



Centre de Seguiment
d'Aiguamolls

"DRA. MARÍA ROSA MIRACLE"



GENERALITAT
VALENCIANA

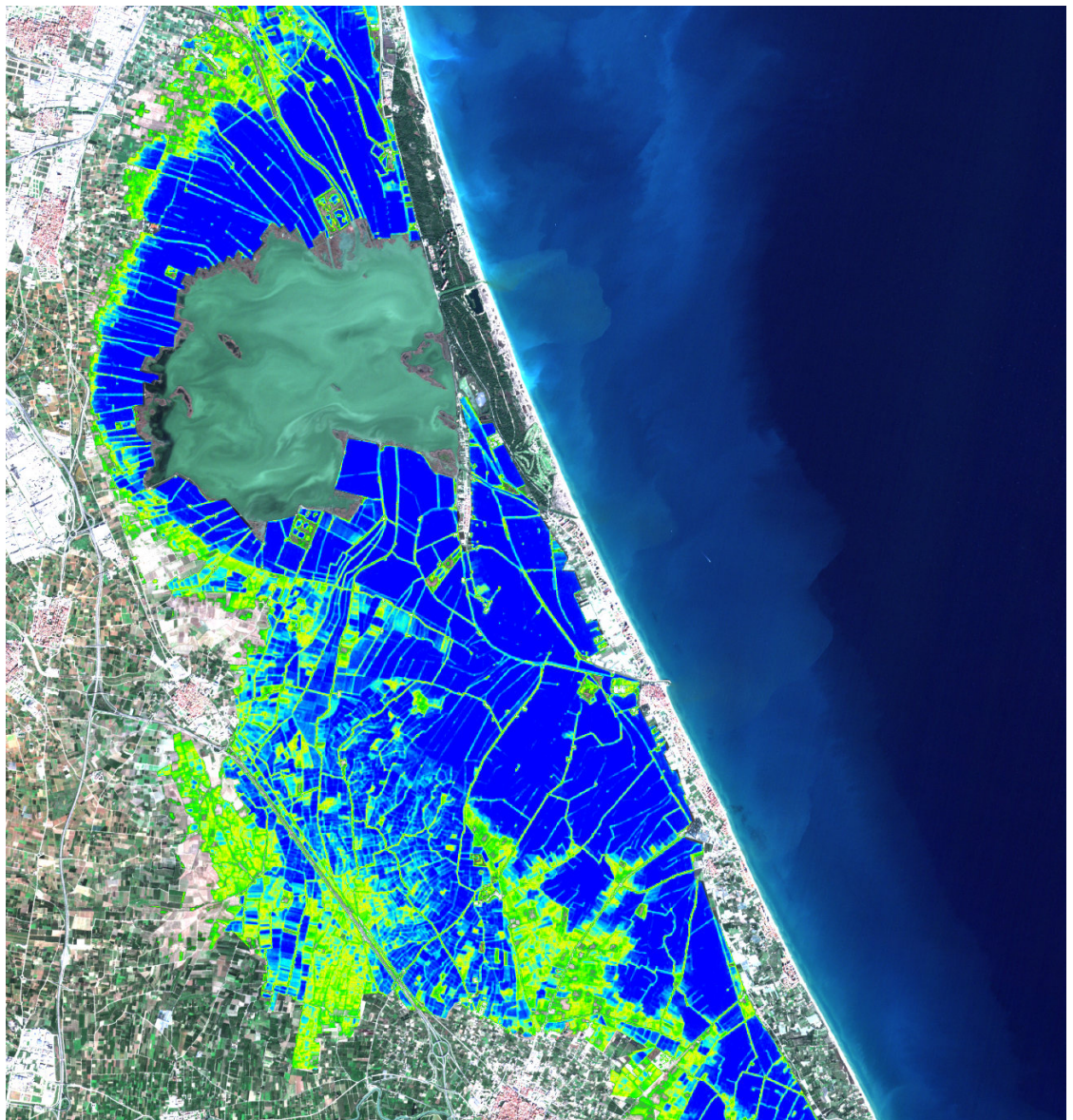
Conselleria d'Agricultura,
Desenvolupament Rural,
Emergència Climàtica
i Transició Ecològica

DIRECCIÓ GENERAL DE MEDI NATURAL
I D' AVALUACIÓ AMBIENTAL

INFORME 1/2023

SEGUIMIENTO POR TELEDETECCIÓN DE LA INUNDACIÓN EN EL PN L'ALBUFERA 2022-2023

ABRIL 2023



VNIVERSITAT
DE VALÈNCIA

INTRODUCCIÓN

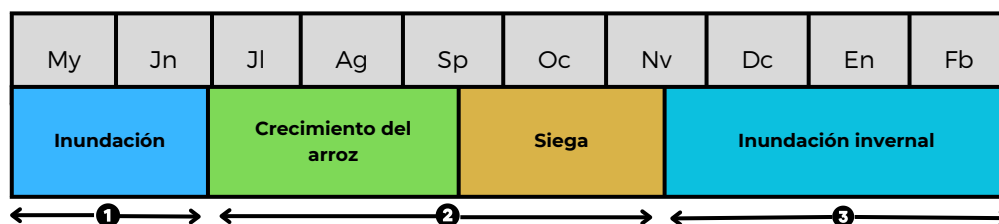
La teledetección es la técnica de adquisición de datos desde sensores remotos, los más modernos sobre plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.

La Agencia Espacial Europea, desde el año 2014 viene poniendo en órbita una serie de misiones satelitales denominadas Sentinel¹. Desde 2014, estos satélites suministran datos de gran utilidad para su uso de forma periódica en numerosas aplicaciones. Gracias a su resolución, la mayoría de los sensores a bordo de los satélites registran información tanto del espectro visible como del espectro no visible. Estos datos ofrecen una gran transversalidad de información que puede ser utilizada en multitud de campos entre ellos la teledetección ambiental con aplicaciones en cartografía de bosques y cultivos, condiciones de estrés hídrico de la vegetación, seguimientos de inundaciones, incendios o catástrofes, cartografías térmicas o características de aguas superficiales. Esta información ofrece grandes ventajas por su amplitud, visión global y frecuencia, y es complementarias a otras técnicas como la fotografía aérea y la observación directa.

La Universitat de València a través del proyecto ESAQS (Ecological Status of AQUatic systems with Sentinel satellites)², financiado por las ayudas del programa GVPROMETEO2016-132 de la Generalitat Valenciana, trata de desarrollar y validar algoritmos para la obtención de indicadores ecológicos de aguas superficiales con la nueva generación de satélites europeos Sentinel-2 y Sentinel-3.

La D.G. de Medi Natural i d'Avaluació Ambiental, a través del Parc Natural de l'Albufera contactó con los investigadores de este proyecto para aplicarlo a problemáticas y necesidades características de este humedal. A través del encargo de gestión de la paja del arroz y seguimiento de variables ambientales de 2022 se ha financiado el estudio cuyos resultados se presentan en este informe. Tiene como objetivo observar la evolución de la inundación del marjal/arrozal del PN Albufera con especial atención a:

1. Inundación primaveral de los arrozales
2. Crecimiento y siega del arroz
3. Inundación invernal
4. Aparición de zonas con anoxia tras la siega



El trabajo de teledetección ambiental ha sido realizado por Eduardo Vicente Pedrós, Juan Miguel Soria y Rebeca Pérez, del Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva, y Jesús Delegido Gómez y Xavier Soria Perpinyà, del Image Processing Laboratory, ambos de la Universitat de València.

1 Instituto Geográfico Nacional (2023). Plan Nacional de Teledetección. Obtenido de <https://pnt.ign.es/satelites-sentinel>

2 https://dogv.gva.es/datos/2016/11/11/pdf/2016_8880.pdf

1.- INUNDACIÓN PRIMAVERAL DE LOS ARROZALES

METODOLOGÍA

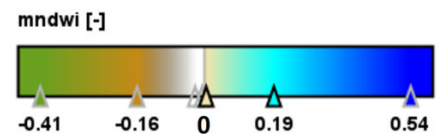
A partir de las imágenes obtenidas por los satélites de la Sentinel-2A y 2B, cuya frecuencia de revisita es de cinco días, se ha realizado el seguimiento la evolución de la inundación de los arrozales. La coincidencia de tiempo despejado y sin nubes durante el periodo de la inundación ha permitido observar el proceso de llenado de los campos.

A partir de una imagen donde se ha realizado la corrección atmosférica y se ha tenido la medida de radiancia, se aplica un índice para determinar la zona con presencia de agua. Son varios los índices utilizados en este tipo de trabajos y un estudio previo del equipo investigador ha revisado los que podían representar mejor los campos poco inundados y muy inundados. Tres índices son los que se han probado, NDWI, MNDWI y NDPI, todos ellos basados en la utilización de las bandas verdes e infrarrojas, realizando una relación entre ellas. En este caso de estudio, la ratio más adecuada ha sido el índice MNDWI, que emplea la banda verde y la banda del infrarrojo medio, correspondientes a las bandas 3 y 12 de Sentinel-2.

RESULTADOS

El resultado del estudio desde el inicio de la inundación de los arrozales hasta la germinación del arroz se presenta para los días 30 de mayo, y 4, 9 y 19 de junio de 2022.

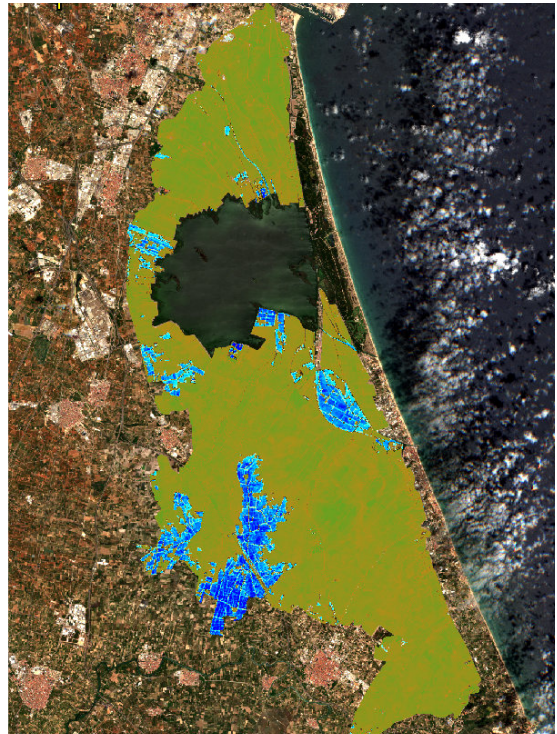
La escala de valores aplicada ha sido la siguiente. Los valores menores de cero indican ausencia de agua (marrón), los valores muy negativos indican la presencia de vegetación (color verde) y los valores mayores de cero indican la presencia de agua (azul claro para las zonas someras y el azul oscuro para las más profundas).



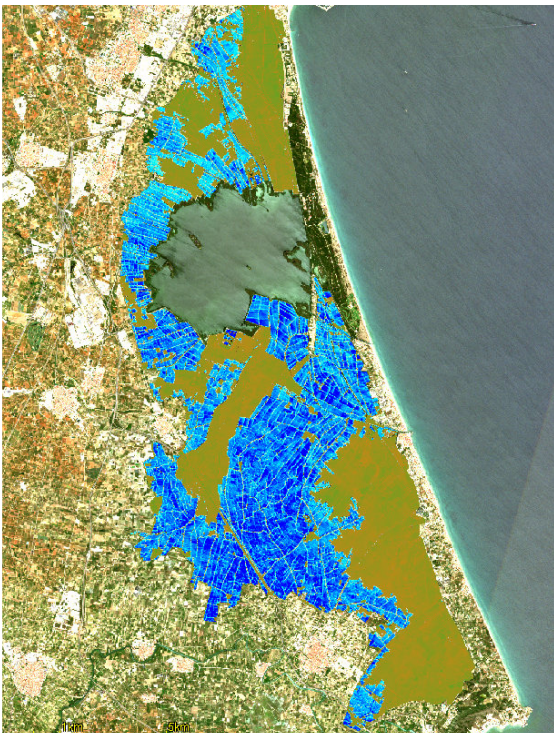
Los mapas obtenidos se presentan a continuación:



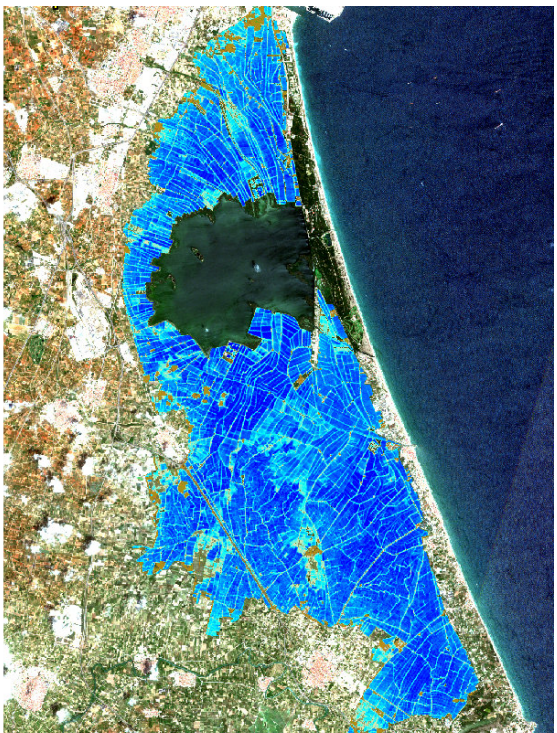
30 de mayo de 2022. Sólo se observa zonas inundadas en los tancats de la Pipa, Milia y lago de la Plana, ullal de Baldoví, así como el barranc de Massanassa. No hay inundación en los arrozales en este momento.



4 de junio de 2022. La inundación ha comenzado por algunas zonas del Port de Silla, en tancats de la Albufera, en la zona servida por la carrera de la Reina y en las zonas que reciben aguas desde el río Júcar por la acequia Dreta y Senillera.



9 de junio de 2022. La inundación por la zona servida por el Júcar por la acequia Dreta está avanzada, por la acequia Mayor de Sueca se ha iniciado, así como toda la zona que toma agua de la Albufera y el entorno del Palmar. Por la zona Oeste se ha completado la zona de Silla y se ha iniciado en la zona de Favara.



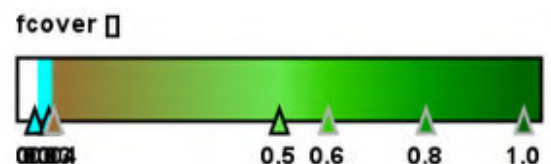
19 de junio de 2022. La inundación está prácticamente completada y aparece ya zonas en las cuales aparece azul claro tirando a verdoso, que indica ya la presencia del arroz germinando y el color verde de la planta, por lo que se pierde el color azul oscuro del agua como en días anteriores.

2.- CRECIMIENTO DEL ARROZ Y SIEGA

METODOLOGÍA

Para el procesado de estas imágenes, estas se han descargado del servidor de la ESA Open Access Hub. Estas imágenes proceden del satélite Sentinel 2, del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea. Las imágenes se descargan en nivel L2A, esto significa que ya tienen una corrección atmosférica previamente aplicada a la imagen. Cabe destacar que la obtención de imágenes satelitales depende principalmente de las condiciones meteorológicas del día que pase el satélite. En un día muy nublado no obtendremos imágenes de calidad. Una vez descargadas, se procesan con el software SNAP, que es un programa enfocado principalmente al procesado de imágenes procedentes de las misiones Sentinel. Las imágenes se deben remuestrear a 10 metros para que todas las bandas tengan la misma resolución espacial. Una vez hecho el remuestreo, se hace un recorte de la zona de estudio. En este punto se le aplica a la imagen los índices de vegetación, en este caso de tipo Biophysical Processor LAI, FAPAR and FCOVER, ejecutamos la función y le aplicamos un shape de la zona de los arrozales mediante vectores en el nuevo producto que hemos creado. Ahora es el momento de crear la máscara que combine los índices de vegetación con el shape de la zona de arrozales, se ejecuta la función que permite combinar ambos productos y nos crea uno nuevo.

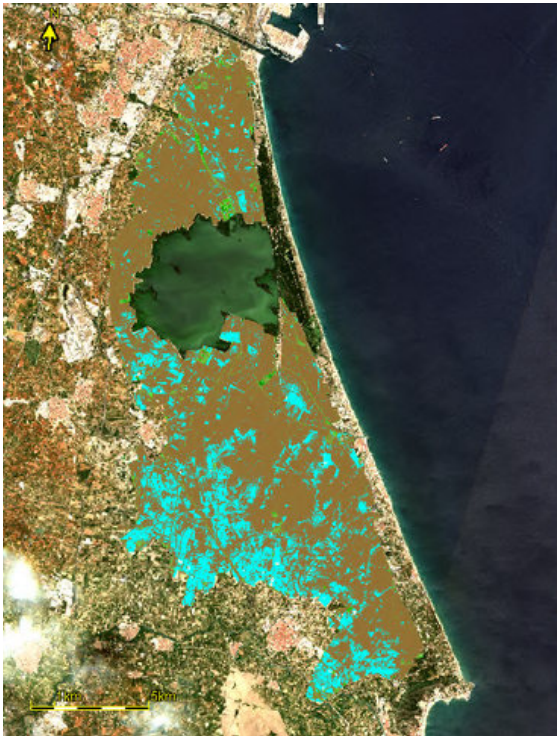
La observación preliminar de resultados presenta como más adecuado para el seguimiento del cultivo del arroz el uso del índice FCOVER. Tras obtenerlo, se aplica una escala de colores con una clasificación de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 0 representan el agua y la tierra ya cosechada, y los valores más cercanos a 1 hacen referencia a la vegetación, conforme más cerca este de 1, más densidad de vegetación habrá.



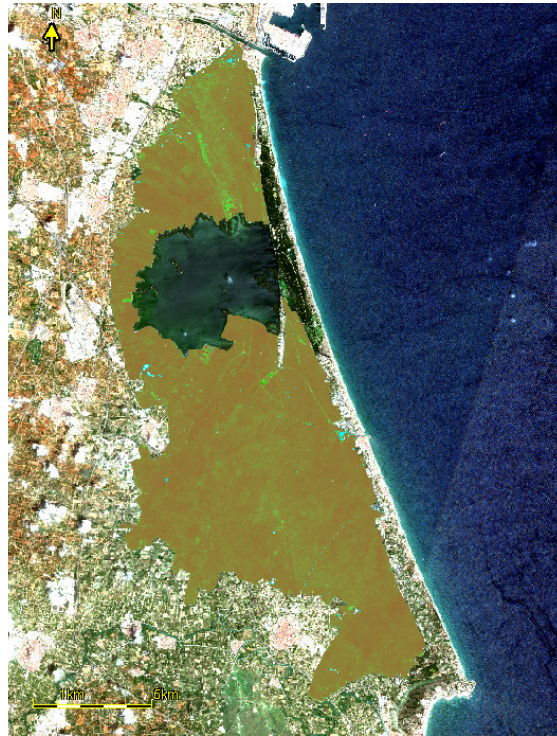
RESULTADOS

Las imágenes utilizadas para observar el ciclo de cultivo del arroz son del 30 de mayo, 19 de junio, 19 de julio, 18 de agosto, 7 de septiembre, 2 de octubre, 1 y 6 de noviembre. Se ha aplicado desde el 30 de mayo como punto de partida de los campos en seco, y los campos inundados el día 19 de junio, que sirven de patrón de la ausencia y presencia de agua. A continuación se ha aplicado desde el 19 de junio como patrón de tierras cultivadas para la siega y a partir del 2 de octubre se observa cómo avanza la siega y las posibles anoxias en los arrozales tal como se van inundando.

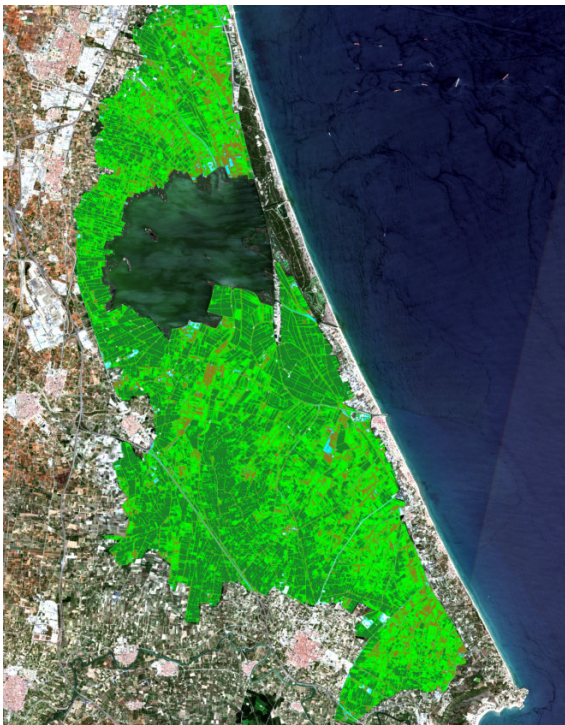
La presentación en mapas temáticos muestra la extensión y distribución de estas zonas, observando las imágenes con índice de vegetación FCOVER aplicada a la zona de arrozales del Parc Natural de l'Albufera mediante una clasificación de 0 a 1, distribuida en rangos de colores. Hay que tener en cuenta que se ha aplicado una máscara que sólo muestra el mapa temático en la zona de arrozal y sus enclaves.



30 de mayo de 2022. El color azul claro representa zonas en seco o hidrosuelos húmedos. El color marrón las tierras secas. El color verde las zonas vegetadas.



19 de junio de 2022. Todo el arrozal está inundado y se observan las zonas donde la germinación está más avanzada, así como las parcelas con vegetación permanente, como los tancats de la Pipa, Milia y los Ullals, entre otros.



19 de julio de 2022. Las zonas con menor densidad de vegetación se identifican con un verde más claro.



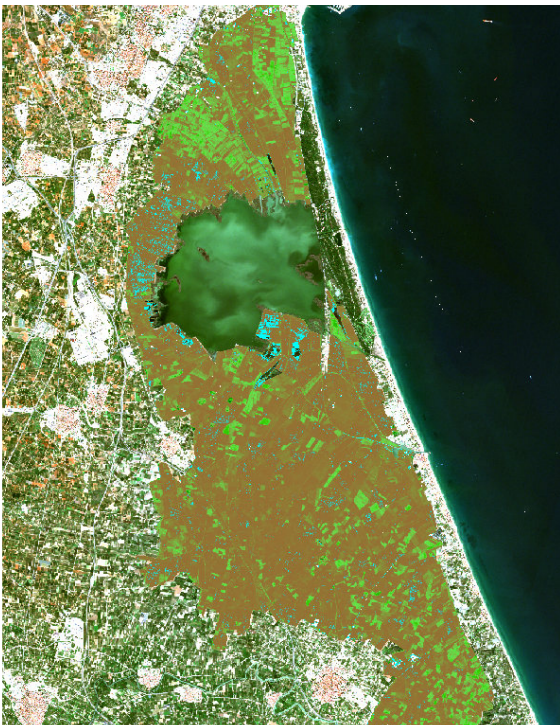
18 de agosto de 2022. Prácticamente la totalidad del arrozal cuenta con una buena densidad de arroz.



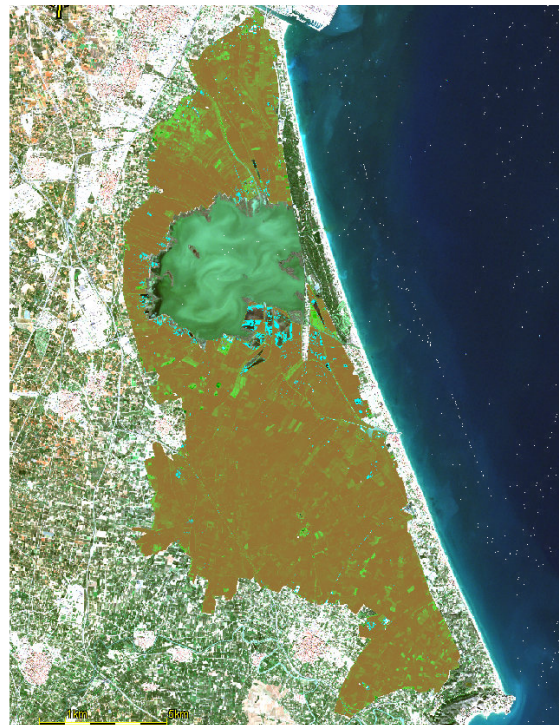
7 de septiembre de 2022. Se observan las diferentes variedades por su vigor vegetativo con diferentes tonalidades de color verde. Las más avanzadas presentan color más claro, las más atrasadas, color más oscuro. Presencia de macrófitos emergentes en la zona de l'Antina.



2 de octubre de 2022. Las zonas que aparecían más avanzadas ya se han segado y presentan el color marrón del suelo sin vegetación. La zona de macrófitos emergentes de la laguna se observa en tono oscuro, con mayor anchura que en la escena anterior.



1 de noviembre de 2022. Quedan ya pocas parcelas con vegetación, estando la mayor parte del arrozal ya segado, excepto la zona de Massanassa y cerca de Pinedo. Aparecen las zonas inundadas e hidrosuelos con el tono azul y negro.



6 de noviembre de 2022. Tan sólo quedan algunas parcelas por segar y en las ya segadas se observa la vegetación residual que rebrota ahora. Las zonas inundadas se observan con el color azul y negro. La extensión de vegetación emergente se observa con claridad en el borde oeste.

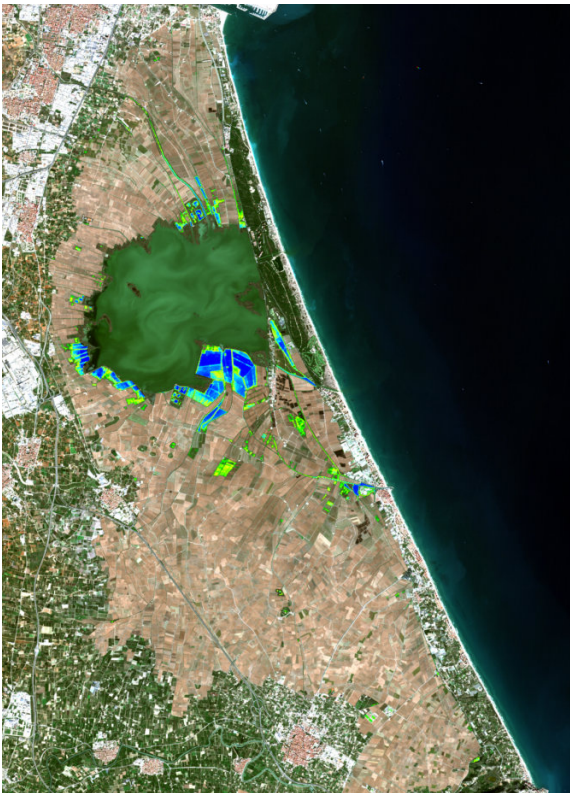
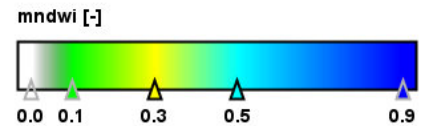
3.- INUNDACIÓN INVERNAL

METODOLOGÍA

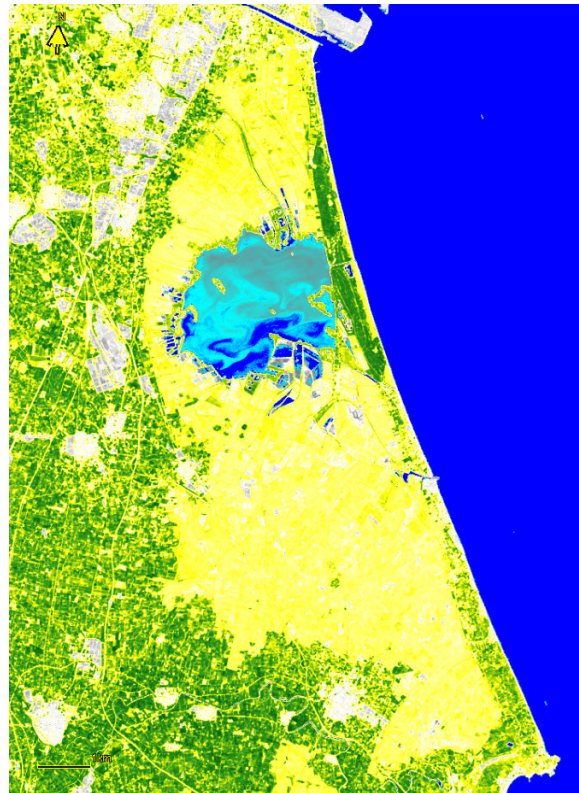
El estudio se ha realizado mediante el procesado de imágenes de Sentinel-2 recortadas para abarcar la extensión del Parc Natural. Se ha aplicado una máscara para procesar exclusivamente la parte del territorio que ocupan los arrozales y el marjal, excluyendo el resto (lago, mar, Devesa, territorio externo circundante). Se ha aplicado el índice MNDWI como índice de agua.

RESULTADOS

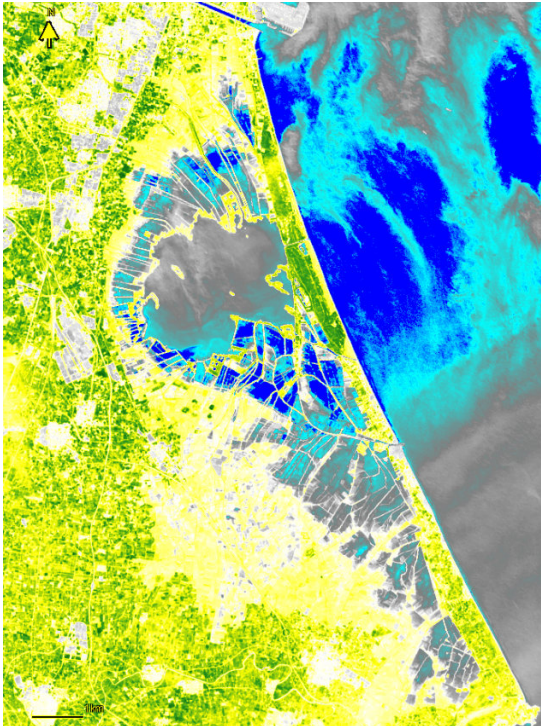
En cuanto a la escala de colores, se representan: valor 0 zona sin agua, entre 0 y 0,3 (verde) zonas con presencia de lámina de agua y tierra emergida visible; entre 0,3 y 1 zonas netamente inundada en color amarillo, azul claro y azul oscuro, en la cual los colores claros indicarían zonas menos profundas y las zonas azul oscuro las más profundas, con niveles de agua mayores de 20-30 cm, tal y como muestra la figura:



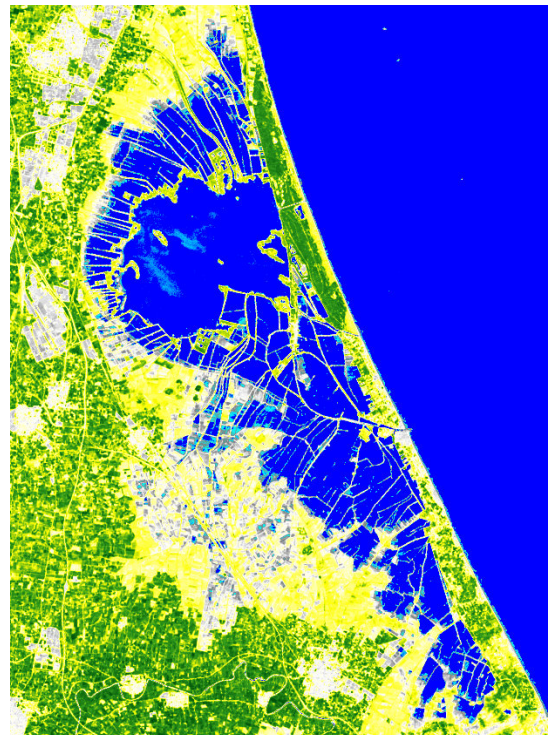
6 de noviembre de 2022. Inicio de la inundación; en primer lugar se inundan las zonas bajas.



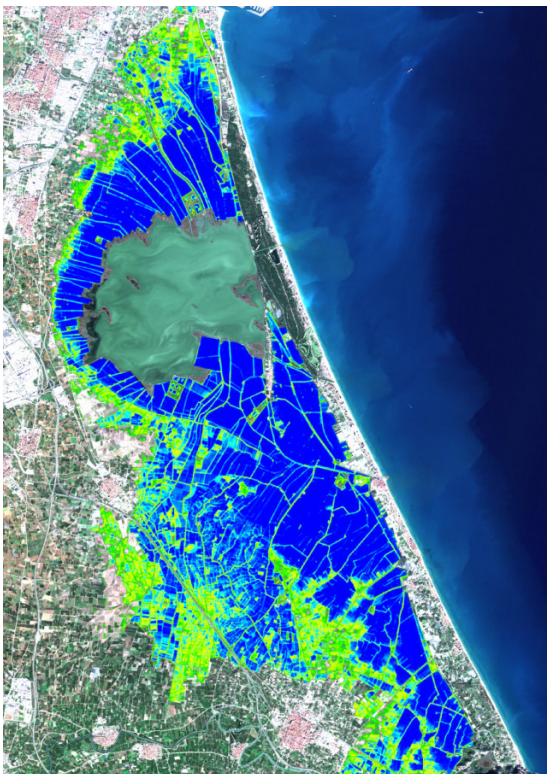
10 de noviembre de 2022. Zonas inundadas en color azul claro, en función del nivel de inundación; las amarillas presentan un inicio mínimo de la inundación. Las zonas vegetadas aparecen en color verde. Por presencia de nubes, el coloreado no corresponde con la escala utilizada.



25 de noviembre de 2022. Imagen de Landsat. Presenta una banda nubosa que atenúa la señal del satélite; se aprecia la extensión ya inundada en todos los tancats en torno a la laguna, así como los de la franja costera de Sueca. La atenuación de la señal no permite conocer con certeza la profundidad del agua existente. Sin escala de MNDWI.



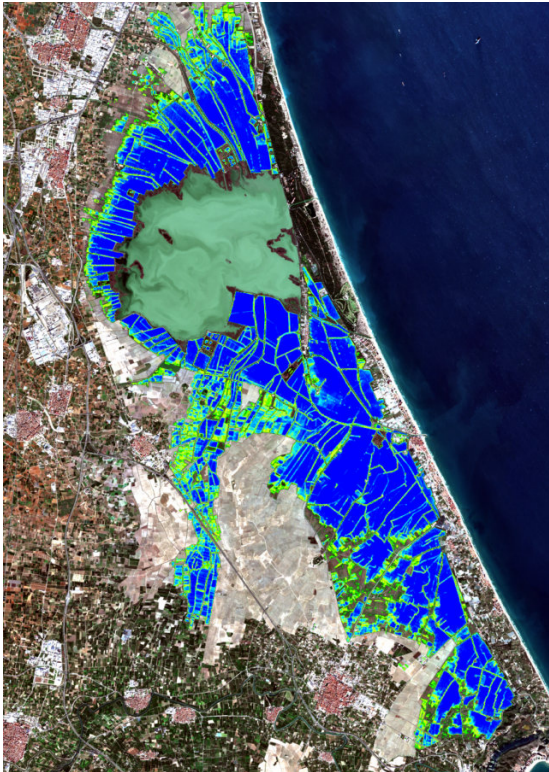
3 de diciembre de 2022. Imagen de Landsat. Se observan nubes sobre la montaña de Cullera que distorsionan la señal del extremo sur. El resto de la imagen es correcta. Sin escala MNDWI.



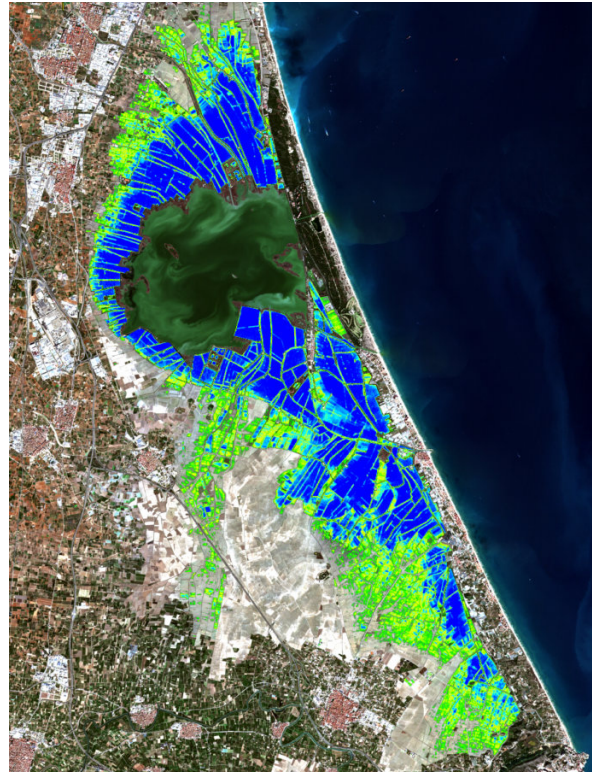
16 de diciembre de 2022. Momento de máxima inundación. Continúa la vegetación emergente en la zona de l'Antina. La extensión máxima con lámina de agua con valor de índice superior a 0,3 fue de 11.500 hectáreas (zonas coloreadas de amarillo y azules).



5 de enero de 2023. Comienza el descenso del nivel de agua y la zona inundada se reduce, especialmente la margen derecha de la acequia Dreta y en la zona oeste entre Sollana y Sueca.



20 de enero de 2023. Las zonas altas servidas desde Sueca ya están secas. Se observa la reducción de la vegetación emergente de la laguna en la zona de l'Antina.



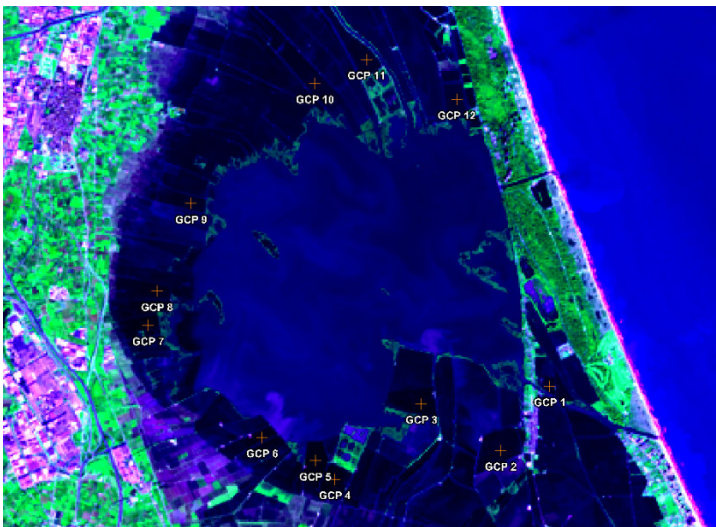
4 de febrero de 2023. Continúa el descenso de nivel, quedando ya solo lámina de agua en las zonas más profundas y los tancats. La vegetación emergente de la laguna se ha reducido más.

Otras imágenes del Sentinel-1, que no se muestran aquí por ser poco visibles, permiten determinar superficies inundadas de 10.127 Ha (3 febrero) y de 6.997 Ha (15 febrero).

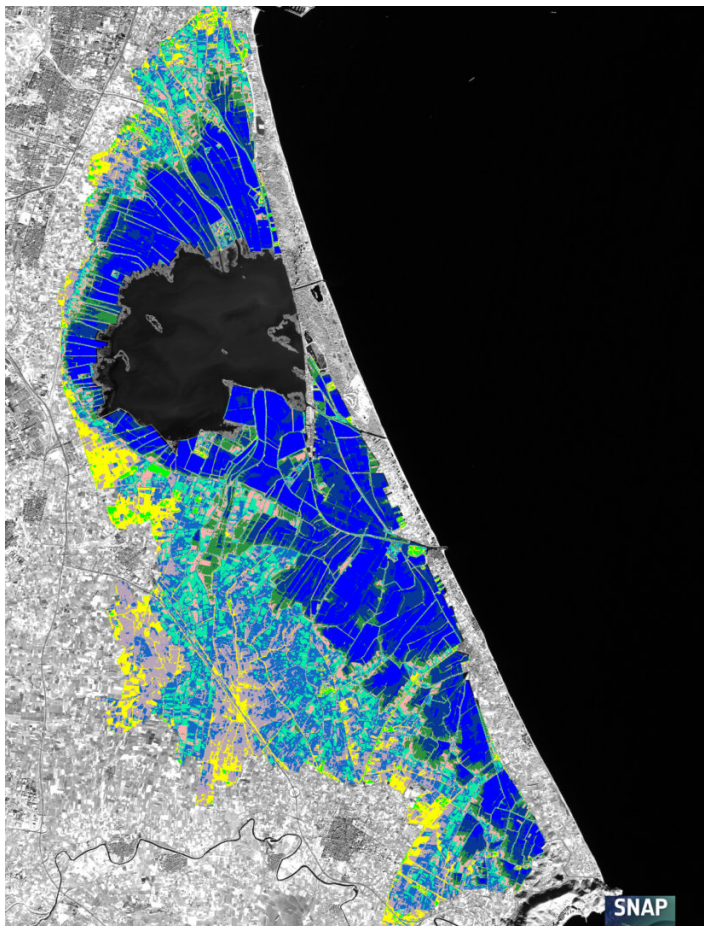
Respecto a 2021, la Perellonà también empieza la primera semana de noviembre, aunque se mantiene un nivel bajo de l'Albufera. Tras informar de la situación, ese mismo mes se desembalsó agua desde Tous, Antella, y a través del sistema Túria para mejorar el flujo de llegada a l'Albufera, tras lo cual aumenta la extensión de la inundación y se mejoran las condiciones del agua, como se verá en el siguiente apartado.

4.- APARICIÓN DE ZONAS CON ANOXIA TRAS LA SIEGA

El tratamiento de la imagen en las bandas visible e infrarroja permite observar posibles zonas de anoxia, por el tono más oscuro del agua. La técnica se utilizó con éxito en los años anteriores.



3 de diciembre de 2022. Se han señalado doce ubicaciones posibles donde podrían ubicarse aguas con descomposición de la paja y otra materia orgánica, generándose anoxia y compuestos reductores, a falta de contrastar con datos de campo.



16 de diciembre de 2022. En esta imagen también se ha podido realizar el tratamiento de zonas con anoxia en arrozales empleado en otros años, señalando en rojo aquellas zonas donde es posible su presencia. No se han encontrado zonas donde se presente anoxia en esta escena, esta vez contrastada con medidas en el campo el mismo día.

En el exhaustivo seguimiento ambiental con mediciones en el campo llevado a cabo dentro del mismo seguimiento de la inundación ambiental de la inundación invernal, entre el 3 noviembre 22 y el 9 enero 23, se detectaron solo un 9% de muestras con problemas de anoxia, un valor muy bajo, en descenso respecto a años anteriores. Esto se relaciona con el comienzo de la inundación el 15 de noviembre, donde se produce un aporte de aguas de calidad, así como con una bajada de temperaturas (ralentizando los procesos metabólicos, y por tanto, también la putrefacción).

El aumento del nivel del agua del lago marca el comienzo de la inundación invernal. Además de las aportaciones invernales de la Comunidad de regantes de Sueca, las aportaciones netamente ambientales (Plan Hidrológico del Júcar 2023-27) se han distribuido de la siguiente forma:

- Del 15 noviembre al 2 diciembre (Desde el Canal Principal): 5,680 hm³ (Datos de CHJ, descontado el Desembalse Técnico)
- Del 5 al 13 diciembre (Desde la Red en Alta): 0,589 hm³ (Datos del Centro de Control de la ARJ), finalizando completamente el aporte el 16 de diciembre.

De forma global, el volumen aportado a l'Albufera desde el 15 de noviembre hasta el corte del 16 de Diciembre de 2022 ha sido de 6,455 hm³.

Respecto a años anteriores, se ha realizado el seguimiento de anoxias desde 2020. Ese año, el 30% de las determinaciones resultaron anóxicas. La situación en 2021 fue similar, mostrando grandes zonas anóxicas, e incluyendo mortandad (grandes llisas). Las zonas sin oxígeno correspondieron al 24% del total de muestreos. Tras el desembalse de noviembre mejoró la oxigenación: aunque la cantidad de puntos anóxicos sólo se redujo un 1%, no ocurrió así con los hipóxicos, que pasaron del 30% en la primera semana de noviembre, al 18% tras la introducción de agua, mostrando una clara mejoría.

CONCLUSIONES

- La teledección ambiental resulta una herramienta idónea para tener un conocimiento de la evolución de la inundación y el desarrollo del cultivo del arroz en el extenso marjal del P.N. de l'Albufera.
- Los resultados muestran una inundación invernal tardía, pero muy extensa y con una duración entre 15 de noviembre y mediados de febrero, con un máximo de inundación invernal de 11.500 hectáreas.
- Las zonas con problemas de oxigenación han disminuido en los últimos años, registrando como datos globales los siguientes:

	Anoxia (< 2mg/l)	Hipoxia (2-4 mg/l)	Buena oxigenación
2020	30%	20%	50%
2021	24%	15%	61%
2022	9%	16%	75%