



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,  
Cartográfica y Topográfica

Análisis de índices de vegetación y salinidad en los cultivos  
de arroz de l'Albufera de València mediante el  
procesamiento en la nube con Google Earth Engine.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Bona, Andreea Cristina

Tutor/a: Fernández Sarriá, Alfonso

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

# Análisis de índices de vegetación y salinidad en los cultivos de arroz de l'Albufera de València mediante el procesamiento en la nube con Google Earth Engine.

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

*Curso académico: 2022 - 2023*

*Autora: Andreea Cristina Bona*

*Tutor: Alfonso Fernández Sarriá*



Agradecimientos: a Luis Correas Naranjo, a mi hermana Ionela Bona, a Javier Boix Campos, a Ana Karolina Chajtur Bonanken, a Juan Vicente Chiva Gil , que me han estado apoyando en esta etapa y a mis compañeros Álex, Raúl y Elena.

A Juan Antonio Muñoz por su amabilidad y confianza.

Y en especial a mi tutor del TFG, Alfonso Fernández Sarria por aconsejarme y guiarme.



### **Compromiso**

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

Valencia, 10/07/2023

Andreea Cristina Bona

## Resumen

El cultivo del arroz es una actividad destacable en la Comunidad Valenciana, tanto económica como socioculturalmente. Dicha planta puede enfrentarse a diferentes adversidades en su crecimiento, destacando entre ellas la salinidad, que puede afectar de forma negativa a su correcto desarrollo y evolución.

El presente trabajo académico tiene como objetivo analizar mediante índices de vegetación y salinidad dos polígonos (cuyas parcelas se estudiarán de forma conjunta) ubicados en los términos municipales de Sueca y Cullera, considerando el hecho de que la salinidad de los suelos difiere. Posteriormente, se centrará el análisis en unos campos de diferentes variedades de arroz ("Bomba" y "JSendra"). De dichos campos se cuenta con los datos de producción, fechas de siembra y de cosecha, cortesía del propietario; a fin de correlacionarlos con el análisis realizado.

Para ello, en primer lugar se extrajeron las zonas de interés empleando el software QGIS y datos del catastro (con el complemento de Inspire de QGIS Seguidamente, empleando Google Earth Engine se realizó el procesado en nube de las imágenes satelitales capturadas por el satélite Sentinel-2) y la aplicación de índices que proporcionan información sobre la salud de las plantas o la salinidad del suelo, tales como el NDVI, GNDVI, EVI, ASTER SI y SAVI, calculados a partir de las bandas espectrales.

Dichos índices fueron estudiados en un periodo de 4 años, desde 2019 hasta 2022 y sus resultados han sido reflejados en gráficos temporales, permitiendo así observar su evolución anual. Con el fin de evitar posibles discontinuidades o alteraciones (probablemente producidas por el ruido), en los gráficos se aplicó un suavizado a los datos.

En el caso de los campos de cultivo analizados, se obtuvieron los valores máximos y mínimos de los índices mencionados anteriormente, permitiendo, no solo analizar la variabilidad de estos, si no también correlacionar los resultados con la información aportada por el propietario y analizarlos así de forma comparativa. Además, se extrajeron un conjunto de parámetros agronómicos con la herramienta de TIMESAT, permitiendo otro análisis respecto a los datos de producción.

En resumen, este estudio tiene como objetivo el análisis a lo largo del tiempo de los índices de vegetación y salinidad en polígonos catastrales con distintos niveles de salinidad, cuyo cultivo es arroz.

**Palabras clave:** Arroz; Albufera de Valencia; Sentinel-2; Google Earth Engine; salinidad; producción.

## Summary

Rice cultivation is an important activity in the Valencian Community, both economically and socio-culturally. This plant can face different adversities in its growth, among them salinity, which can negatively affect its correct development and evolution.

The aim of this academic work is to analyse two polygons (whose plots will be studied jointly) located in the municipalities of Sueca and Cullera by means of vegetation and salinity index, considering the fact that the salinity of the soils differs. Subsequently, the analysis will focus on some fields of different rice varieties ("Bomba" and "JSendra"). Production data, showing and harvesting dates are available for these fields, courtesy of the owner, in order to correlate them with the analysis carried out.

To do this, the areas of interest were first extracted using QGIS software and cadastre data (with the QGIS Inspire add-on). Then, using Google Earth Engine, the satellite images captured by the Sentinel-2 satellite were processed in the cloud and indices were applied that provide information on plant health or soil salinity, such as NDVI, GNDVI, EVI, ASTER SI and SAVI, calculated from the spectral bands.

These index were studied over a period of 4 years, from 2019 to 2022, and their results have been reflected in temporal graphs, thus allowing their annual evolution to be observed. In order to avoid possible discontinuities or alterations (probably caused by noise), a smoothing of the data was applied to the graphs.

In the case of the crop fields analysed, the maximum and minimum values of the aforementioned index were obtained, allowing not only to analyse their variability, but also to correlate the results with the information provided by the owner and thus analyse them in a comparative manner. In addition, a set of agronomic parameters were extracted with the TIMESAT tool, allowing another analysis of the production data.

In summary, this study aims to analyse over time the vegetation and salinity index in cadastral polygons with different levels of salinity, whose crop is rice.

**Keywords:** Rice; Albufera de Valencia; Sentinel-2; Google Earth Engine; yield.

## Resum

El cultiu de l'arròs és una activitat destacable a la Comunitat Valenciana, tant econòmica com socioculturalment. Aquesta planta pot enfrontar-se a diferents adversitats en el seu creixement, destacant entre elles la salinitat, que pot afectar de manera negativa al seu correcte desenvolupament i evolució.

El present treball acadèmic té com a objectiu analitzar mitjançant índexs de vegetació i salinitat dos polígons (les parcel·les dels quals s'estudiaran de manera conjunta) situats en els termes municipals de Sueca i Cullera, considerant el fet que la salinitat dels sòls difereix.

Posteriorment, se centrarà l'anàlisi en uns camps de diferents varietats d'arròs ("Bomba" i "JSendra"). D'aquests camps es compta amb les dades de producció, dates de sembra i de collita, cortesia del propietari; a fi de correlacionar-los amb l'anàlisi realitzada.

Per a això, en primer lloc es van extraure les zones d'interés emprant el programari QGIS i dades del cadastre (amb el complement de Inspire de QGIS Seguidament, emprant Google Earth Engine es va realitzar el processament en núvol de les imatges satel·litàries capturades pel satèl·lit Sentinel-2) i l'aplicació d'índexs que proporcionen informació sobre la salut de les plantes o la salinitat del sòl, com ara el NDVI, GNDVI, EVI, ÀSTER SI i SAVI, calculats a partir de les bandes espectrals.

Aquests índexs van ser estudiats en un període de 4 anys, des de 2019 fins a 2022 i els seus resultats han sigut reflectits en gràfics temporals, permetent així observar la seua evolució anual. Amb la finalitat d'evitar possibles discontinuïtats o alteracions (probablement produïdes pel soroll), en els gràfics es va aplicar un suavitzat a les dades.

En el cas dels camps de cultiu analitzats, es van obtindre els valors màxims i mínims dels índexs esmentats anteriorment, permetent, no sols analitzar la variabilitat d'aquests, si no també correlacionar els resultats amb la informació aportada pel propietari i analitzar-los així de manera comparativa. A més, es van extraure un conjunt de paràmetres agronòmics amb l'eina de TIMESAT, permetent una altra anàlisi respecte a les dades de producció.

En resum, aquest estudi té com a objectiu l'anàlisi al llarg del temps dels índexs de vegetació i salinitat en polígons cadastrals amb diferents nivells de salinitat, el cultiu de la qual és arròs.

**Paraules clau:** Arròs; Albufera de València; Sentinel-2; Google Earth Engine; salinitat; producció.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Arrozales de la Albufera Mayo 2023. Fuente: Realización propia .....	19
Figura 2 Tabla de niveles de salinidad y sus efectos en los cultivos. Fuente: Salinidad del Suelo (2023)....	21
Figura 3 Áreas seleccionadas. Fuente: elaboración propia .....	24
Ilustración 4 Visualización de las áreas seleccionadas sobre fondo de Google Satellite. Fuente: Elaboración propia .....	25
Figura 5 Permeabilidad del suelo en el área seleccionada. Fuente: Permeabilidad-ICV, Generalitat Valenciana.....	26
Figura 6 Aridez climática de la zona de estudio. Fuente: Factores que influyen en la salinidad y Sodicidad, Agrosal.....	26
Figura 7 Página Web de la Sede del Catastro de España. Fuente: Realización propia .....	27
Figura 8 Complemento de QGIS 'INSPIRE' empleado. Fuente: Realización propia .....	28
Figura 9 Salinidad del suelo y área seleccionada. Fuente: Elaboración propia, Referencia: Agrosal- La Salinización en la agricultura. ....	29
Figura 10 Diagrama de la metodología empleada, Donde los procesos relacionados con la búsqueda de datos adquieren tonalidades rojas, los procesos de Google Earth Engine azul y aquellos elaborados con TIMESAT verdes. Fuente: Elaboración propia .....	31
Figura 11 Creación de una columna indicativa del polígono catastral en QGIS. Fuente: Realización propia .....	32
Figura 12 Edificios seleccionados del municipio de Sueca para aplicar una diferencia respecto al polígono objeto de estudio. Fuente: Realización propia.....	33
Figura 13 Eliminación de una posible boquera mediante la herramienta de digitalización avanzada. Fuente: Realización propia .....	33
Figura 14 Diferencia resultante entre la superficie inicial y la final del campo de Canyar Gran. Fuente: Realización propia .....	34
Figura 15 Gráfico de la serie temporal del índice EVI, año 2022. Fuente: Elaboración propia .....	40
Figura 16 Gráfico de la serie temporal del índice NDVI suavizado en GEE. Fuente: Elaboración propia ....	40
Figura 17 Ejemplo de serie suavizada con TIMESAT. Fuente: Elaboración propia .....	42
Figura 18 Gráfico temporal del índice NDVI suavizado en GEE. Fuente: Elaboración propia .....	44
Figura 19 Irradiación solar mensual, directa normal, en un punto de coordenadas ubicado en el polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia .....	45
Figura 20 Gráfico temporal del índice GNDVI para el polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 21 Serie temporal suavizada de los índices de vegetación del polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia .....	46
Figura 22 Serie temporal suavizada de los índices de vegetación del polígono 57 de Cullera. Fuente: Elaboración propia .....	46
Figura 23 Arrozales de la Albufera, Enero 2022. Fuente: Ionela Bona .....	47
Figura 24 Cultivos de arroz en plena temporada de desarrollo, en los alrededores de Sueca y Sollana, como ejemplo de la cobertura vegetal que en verano puede dificultar la precisión de los índices de salinidad empleados. ....	47
Figura 25 Gráfico temporal del índice NDSI suavizado con GEE del polígono 57 de Cullera los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia .....	48
Figura 26 Gráfico temporal del índice ASTER_SI suavizado con GEE del polígono 57 de Cullera los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia .....	49
Figura 27 Gráfico temporal del índice NDSI suavizado con GEE del polígono 47 de Sueca los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia .....	49
Figura 28 Gráfico temporal del índice SAVI suavizado con GEE del polígono 57 de Cullera los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia .....	50



Figura 29 Ejemplos de espacios temporales sin imágenes que cumplan los requisitos de filtrado en el gráfico de índices del polígono 57 de Cullera. Fuente: Elaboración propia .....	50
Figura 30 Visualización del gráfico de series temporales del polígono 57 de Cullera SIN el filtrado de nubes. Fuente: Elaboración propia .....	51
Figura 31 Serie temporal suavizada de los índices aplicados en el polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia .....	51
Figura 32 Serie temporal suavizada con GEE de los índices aplicados en el polígono 57 de Cullera en el año 2022. Fuente: Elaboración propia .....	52
Figura 33 Serie temporal suavizada con GEE de los índices de salinidad aplicados en el polígono 47 de Sueca en el año 2022. Fuente: Elaboración propia .....	53
Figura 34 Serie temporal suavizada con GEE de los índices de salinidad aplicados en el polígono 47 de Sueca en el año 2020. Fuente: Elaboración propia .....	53
Figura 35 Visualización de las precipitaciones acumuladas en la Comunidad Valenciana el mes de Mayo en los años 2020 y 2022, expresado en litros por metro cuadrado. Fuente: AEMET- Agencia Estatal Meteorológica .....	54
Figura 36 Precipitación media en la Comunidad Valencina, mes de Junio. Fuente: AEMET- Agencia Estatal Meteorológica .....	54
Figura 37 Gráfico de barras de la temperatura media en la Comunidad Valenciana el mes de Junio. Fuente: AEMET- Agencia Estatal Meteorológica .....	55
Figura 38 Gráfico de dispersión del índice NDVI y la producción del campo de Catarrotxi para un periodo de cuatro años. Fuente: elaboración propia .....	58
Figura 39 Serie temporal suavizada con GEE de los índices aplicados en el campo de Canyar Gran en el año 2020. Fuente: Elaboración propia .....	59
Figura 40 Visualización en detalle de la serie temporal sin filtros para ubicar en el gráfico el efecto de la cosecha del arroz y su efecto en la representación de los índices aplicados para el campo de Canyar Gran en el año 2020. Fuente: Elaboración propia .....	59
Figura 41 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran sin ningún tipo de suavizado para el año 2021. Fuente: Elaboración propia .....	61
Figura 42 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con GEE para el año 2021. Fuente: Elaboración propia .....	62
Figura 43 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con TIMESAT para el año 2021. Fuente: Elaboración propia .....	62
Figura 44 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con TIMESAT para el año 2020. Fuente: Elaboración propia .....	63
Figura 45 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con GEE para el año 2020. Fuente: Elaboración propia .....	63
Figura 46 Visualización de los gráficos temporales del año 2020 suavizados con GEE (amarillo) y TIMESAT (marrón) para el campo de Canyar Gran. Fuente: Elaboración propia .....	63
Figura 47 Gráfico temporal del índice NDVI suavizado con GEE, campo de Catarrotxi año 2020. Fuente: elaboración propia .....	64
Figura 48 Gráfico temporal del índice NDVI suavizado con TIMESAT, campo de Catarrotxi año 2020. Fuente: elaboración propia .....	64
Figura 49 Mapeo de los índices de vegetación de los polígonos catastrales de estudio, año 2019. Fuente: Elaboración propia .....	67
Figura 50 Mapeo de los índices de vegetación de los polígonos catastrales de estudio, año 2021. Fuente: Elaboración propia .....	67
Figura 51 Mapeo de los índices de vegetación de los polígonos catastrales de estudio, año 2020. Fuente: Elaboración propia .....	68
Figura 52 Mapeo y comparación de los índices de vegetación para cada uno de los polígonos catastrales de estudio, año 2019. Fuente: Elaboración propia .....	68
Figura 53 Evolución temporal del índice NDVI aplicado en el polígono 47 de Sueca para los meses de junio y julio. Fuente: Elaboración propia. ....	69



---

<i>Figura 54 Evolución temporal del índice NDVI aplicado en el polígono 57 de Cullera para los meses de junio y julio. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 55 Evolución temporal del índice NDSI aplicado a los polígonos catastrales para los meses de marzo y abril en los años de estudio. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 56 Evolución temporal del índice ASTER_SI aplicado a los polígonos catastrales para los meses de marzo y abril en los años de estudio. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>71</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Parcelas catastrales de las zonas de estudio y sus municipios correspondientes. Fuente: Realización Propia .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2 Superficies y unidades de las zonas de estudio. Fuente: Realización propia.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 3 Bandas de las imágenes satelitales empleadas. Fuente: Realización propia.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4 Superficies resultantes al redefinir las áreas de estudio. Fuente: Elaboración propia .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5 Datos de producción de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 6 Adaptación de la tabla de los máximos y mínimos de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran, para mostrar las columnas relacionadas con los kilogramos por hectárea estimados y los obtenidos realmente a partir de la Ecuación 7. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 7 Adaptación de la tabla de los máximos y mínimos de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran, para mostrar las columnas relacionadas con la diferencia entre la producción estimada y la producción real. Fuente: elaboración propia .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8 Fechas de estimación de la estación del cultivo a partir de los parámetros empleados. Fuente: Elaboración propia .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 9 Tabla salarial y plus convenio para el año 2022- Fuente: BOE - Resolución del 27 de febrero de 2023.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 10 Cálculo de costes. Fuente: elaboración propia.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 11 Actividades con sus costes, duración y recursos necesarios. Fuente: realización propia.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 12 Costes indirectos, presupuestos. Fuente: Elaboración propia.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 13 Presupuesto general, total. Fuente: Elaboración propia .....</i>	<i>75</i>



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Fórmula del índice NDVI. Fuente: MappingGIS .....</i>	<i>35</i>
<i>Ecuación 2 Fórmula del índice GNDVI. Fuente: MappingGIS.....</i>	<i>36</i>
<i>Ecuación 3 Fórmula del índice EVI. Fuente: Índices de vegetación y su aplicación en la agricultura digital .....</i>	<i>36</i>
<i>Ecuación 4 Fórmula del índice NDSI. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022 .....</i>	<i>36</i>
<i>Ecuación 5 Fórmula del índice ASTER SI. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022.....</i>	<i>36</i>
<i>Ecuación 6 Fórmula del índice SAVI. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022 .....</i>	<i>37</i>
<i>Ecuación 7 Fórmula de estimación de la producción de arroz en toneladas por hectárea. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022 .....</i>	<i>57</i>

## ÍNDICE DE ANEJOS

<i>Anejo 1 Mapa de situación y emplazamiento.....</i>	<i>81</i>
<i>Anejo 2 Mapa de las áreas de estudio definidas.....</i>	<i>82</i>
<i>Anejo 3 Mapa de las zonas de estudio y la salinidad del suelo.....</i>	<i>83</i>
<i>Anejo 4 Mapa del índice NDVI del polígono 47 el mes de julio de 2019.....</i>	<i>84</i>
<i>Anejo 5 Gráficos temporales anuales de los índices de vegetación y salinidad (en conjunto).....</i>	<i>85</i>
<i>Anejo 6 Gráficos temporales anuales de los índices de vegetación y salinidad (individualmente y de los índices de vegetación y salinidad por separado).....</i>	<i>86</i>
<i>Anejo 7 Gráficos individuales de cada índice de vegetación y salinidad en el periodo de estudio de las áreas definidas.....</i>	<i>116</i>
<i>Anejo 8 Tablas de los datos de producción y de los parámetros agronómicos para los campos de Catarrotxi y Canyar Gran, así como de los valores obtenidos para los polígonos catastrales.....</i>	<i>128</i>
<i>Anejo 9 Gráficos sobre temperaturas medias, precipitaciones medias y precipitaciones acumuladas.....</i>	<i>133</i>
<i>Anejo 10 Extractos de código.....</i>	<i>139</i>

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	17
LA TELEDETECCIÓN .....	17
LA ALBUFERA DE VALENCIA.....	18
CULTIVOS DE ARROZ .....	19
VARIEDAD JSENDRA .....	19
VARIEDAD BOMBA .....	19
LA SALINIDAD EN LOS CULTIVOS DE ARROZ.....	20
ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y SALINIDAD .....	21
QGIS.....	22
TIMESAT .....	22
OBJETIVOS .....	23
ÁREAS SELECCIONADAS .....	24
DATOS/FUENTES DE INFORMACIÓN.....	27
Datos de cartografía catastral .....	27
Web catastro.....	27
Complemento de Inspire en QGIS.....	27
Datos de la cuenca hidrográfica del Júcar .....	28
Datos de los límites provinciales y autonómicos .....	28
Datos Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2 <sup>a</sup> A .....	28
Datos de la Salinidad del suelo de Regadío .....	29
Datos de la producción de los cultivos de arroz de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran .....	30
Datos Climatológicos de la Comunidad Valenciana.....	30
Datos mensuales de irradiación.....	30
METODOLOGÍA .....	31
Descarga de datos.....	32
Selección de las zonas de estudio .....	32
Procesamiento en Google Earth Engine.....	35
Índices de vegetación y salinidad.....	35
Filtrado de nubes .....	38
Selección de la colección de imágenes.....	38
Elaboración de los gráficos .....	39
Suavizado de los gráficos con Google Earth Engine.....	40
Obtención de los valores máximos y mínimos en el caso de los campos de cultivo de arroz .....	41



---

Generación de cartografiado de los índices de vegetación y salinidad .....	41
Edición de los datos para su ajuste a TIMESAT y extracción de parámetros agronómicos ....	42
RESULTADOS.....	43
Análisis y comparación de los índices de vegetación y salinidad en zonas de distinto nivel salino en el suelo.....	44
Análisis de los gráficos obtenidos para los índices de vegetación .....	44
Análisis de los gráficos obtenidos para los índices de salinidad .....	47
Interpretación global de los índices de vegetación y salinidad, así como la presencia de lagunas temporales. ....	50
Año 2022 como caso anómalo.....	51
Caso concreto de los campos de arroz ‘Gran Canyar’ y ‘Catarrotxi’ .....	56
Análisis de los gráficos temporales de los campos Catarrotxi y Canyar Gran .....	58
Generación de gráficos temporales con TIMESAT y estimación del periodo estacional del cultivo de arroz .....	61
Gráficos temporales con TIMESAT .....	61
Estimación de la estación de cultivo del arroz con TIMESAT.....	65
Representación zonal de los índices de vegetación y salinidad para analizar el estado de los cultivos .....	67
CONCLUSIONES.....	72
PRESUPUESTO .....	74
BIBLIOGRAFIA .....	76

## GLOSARIO

AEMET :Agencia Estatal de Meteorología.

ASTER\_SI: Normalized Difference Salinity Index, Índice de Salinidad Normalizada ASTER.

Boqueras: Método tradicional empleado para el riego de cultivos mediante el uso de canales.

BOE: Boletín Oficial del Estado.

CE: Comisión Europea.

CEes: Conductividad eléctrica.

CNIG: Centro Nacional de Información Geográfica.

Datasets: Término empleado en Google Earth Engine para denominar una colección de datos geoespaciales.

dS/m: Unidad de conductividad eléctrica empleada para medir la salinidad del suelo en los datos empleados.

Encamado del arroz: Término usado para referirse a que la planta de arroz se ha inclinado o doblado, normalmente por no soportar su peso. El encamamiento suele derivar en que la planta sea más sensible a plagas (Juan Antonio Muñoz).

ESA: Agencia Espacial Europea.

EVI: Enhanced Vegetation Index, Índice de Vegetación Mejorado.

GEE: Google Earth Engine.

GNDVI: Green Normalized Difference Vegetation Index, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Verde.

LIC: Lugar de Importancia Comunitaria.

MSI: Imagen Multiespectral.

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index, Índice de vegetación de diferencia normalizada.

NDSI: Normalized Difference Salinity Index, Índice de Diferencia Normalizada de Salinidad.

NIR: Near InfraRed.

SAVI: Soil Adjusted Vegetation Index, Índice de Vegetación Ajustado al Suelo.

SWIR: Short Wave Infrared.

SR: Reflectancia de la Superficie.

Shape: formato de archivo vectorial empleado normalmente para almacenar información de datos geoespaciales.

Script: nombre con el que se describe a los archivos de código.

WGS84: World Geodetic System 1984, marco de referencia de coordenadas geodésicas.





ZEPA: Zona Especial de Protección de Aves.

## INTRODUCCIÓN

### LA TELEDETECCIÓN

La teledetección es una técnica de medición y observación con la que se consigue obtener información detallada sobre la superficie terrestre y sus características a distancia. Los datos se obtienen a través de sensores presentes en los satélites, capturando la interacción de la radiación electromagnética con el terreno en distintas amplitudes.

Los objetos captados interactúan de distintas formas con la energía recibida, reflejándola, absorbiéndola o transmitiéndola. En el caso de las plantas, presentan un comportamiento espectral en las distintas capas de sus hojas, de forma general se podría decir que reflejan parte de la luz verde mientras que absorben gran parte de la luz azul y roja y reflejan también parte de la radiación del infrarrojo cercano, siendo un indicativo de la salud de la vegetación, contenido de humedad, estado fenológico, etc....

La atmósfera también interacciona con la radiación, absorbiendo la energía en distintas longitudes del espectro y limitando la observación en algunas bandas del espectro. En otras bandas la atmosfera produce la dispersión de la energía por la interacción con los elementos y partículas que la componen.

Otra interacción que se da entre la atmósfera y la energía es la emisión, con la que se consigue obtener información sobre la temperatura.

En este caso se emplean imágenes obtenidas por Sentinel-2 el cual presenta un sistema de teledetección pasiva, pues no emiten su propia energía, sino que simplemente la recibe («Sentinel-2 - Satellite Description - Sentinel Online» [consulta 14 de marzo], p. 2).

Sentinel MultiSpectral Instrument (MSI) es un sensor utilizado en la misión de Sentinel-2, del programa Copernicus, gestionado por la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Comisión Europea (CE), que tiene como fin la obtención de datos y observación de la superficie terrestre con distintos fines («Collection 1 Level-2A» [consulta 14 de marzo]) («User Guides - Sentinel-2 MSI - Level-2 Processing - Sentinel Online» [consulta 14 de marzo]).

El sensor empleado por dicha colección (MSI) implica que las imágenes obtenidas son multiespectrales, es decir, las imágenes disponen de varias bandas con información de distintos umbrales del espectro, los píxeles de las imágenes adquirirán distintos valores dependiendo de la banda en la que se hayan capturado («MSI Instrument – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online» [consulta 15 de marzo]).

La órbita que sigue la plataforma satelital es de tipo polar heliosincrónica, es decir, pasa por el mismo punto de la superficie terrestre a la misma hora solar, asegurando condiciones lumínicas parecidas. Dicha órbita va de norte a sur y su periodo orbital es muy corto (el tiempo que tarda en completar una vuelta respecto a la Tierra). («¿Qué es una órbita polar sol-sincrónica?» 2017)

Google Earth Engine es una plataforma en la nube desde la que se pueden emplear, manejar y visualizar datos de imágenes satelitales y herramientas de procesamiento a escala global. Dispone de una gran cantidad de catálogos de datos, abarcando distintos tipos de satélites o clases de imágenes a las que se puede acceder de manera gratuita.

Facilita y agiliza el proceso de trabajar con un gran volumen de datos al tratar el procesamiento en nube, ahorrando tiempo y espacio de almacenamiento a los usuarios y permitiendo cambiar de recursos/datos de forma versátil, así como su importación o exportación o incluso su visualización espacial en una ventana incorporada en el apartado de los códigos (López [consulta 15 de marzo]).

## LA ALBUFERA DE VALENCIA

Las zonas seleccionadas para el siguiente estudio se ubican en el espacio natural de la Albufera de Valencia, cuyos humedales son aprovechados para el cultivo de arroz. Los humedales son espacios naturales o artificiales cubiertos por agua de forma temporal o permanente que permiten la existencia de ecosistemas productivos, que en el caso de la Albufera se aprovechan como recurso natural para el cultivo de arroz y dicha actividad contribuye a conservarlos y preservar las comunidades biológicas que alberga.

Desde una perspectiva geomorfológica, su origen es bastante antiguo. Se formó al quedarse aislado un golfo marino que se extendía entre las desembocaduras de los ríos Túria y Xúquer por la acumulación de sedimentos que poco a poco redujeron su extensión, dado lugar a una laguna (Delgado, Pérez y Duato 1998).

Los primeros aprovechamientos que realizó el ser humano consistieron en actividades distintas al cultivo de arroz, como la caza y la pesca. También destaca la extracción de sal de la cual hay registros históricos procedentes de la Edad Media («Parque Natural de la Albufera de Valencia - PN L'Albufera - Generalitat Valenciana» [consulta 24 de marzo]).

El cultivo del arroz habría sido introducido por los árabes cuya influencia también dio lugar al origen del nombre proveniente de 'El Buh Segera', que se traduciría como 'la mar pequeña'. Aunque fue en torno al siglo XV cuando se realizarían distintas canalizaciones para fomentar este tipo de cultivo en la Albufera por su demanda, dejando de ser una zona de salinas («Cultivo de arroz en la Albufera de Valencia» 2023; «Historia Del Cultivo\_ – Arroz de Valencia Denominación de Origen» [consulta 23 de marzo]).

La Albufera de Valencia fue declarada en 1986 como Parque Natural, siendo el primero de la Comunidad Valenciana. Más tarde en el año 1990 se declaró zona ZEPA (Zona Especial de Protección de Aves), que conllevaría a incluirla en la Red Natura 2000 en el año 2000 y posteriormente en 2006 fue declarada LIC (Lugar de Importancia Comunitaria) («La Red Natura 2000 - PN L'Albufera - Generalitat Valenciana» [sin fecha]; PSPV 2006).

## CULTIVOS DE ARROZ

El cultivo de arroz es una actividad agrícola de gran impacto en la provincia de Valencia como se ha mencionado anteriormente. Se obtienen unas semillas comestibles a partir de una planta que, según la especie, puede alcanzar diferentes longitudes y presentar distintas características.

La obtención del arroz lleva un proceso elaborado, distinguiéndose varias etapas a lo largo del año.

Todo comienza con el proceso de la 'perelloná', que consiste en mantener los campos inundados desde noviembre a enero, la preparación de dicha tierra dejando follaje y el arado de la tierra y nivelado para un adecuado drenaje previamente a la siembra.

Durante la etapa de la siembra (mes de mayo) y desarrollo del cultivo, los agricultores se encargan de las malas hierbas que puedan aparecer y de las posibles plagas con distintos métodos.



Figura 1 Arrozales de la Albufera Mayo 2023. Fuente: Realización propia

Finalmente, en los meses de septiembre y octubre se produce la cosecha, dependiendo de distintos factores, entre los que se encuentra la variedad de arroz. («Cultivo del arroz en la Albufera de Valencia | 🌿 Arrozales de Valencia» 2016)

En este estudio se trabaja con datos de dos variedades distintas: JSendra y Bomba.

### VARIEDAD JSENDRA

Las plantas de esta variedad pueden alcanzar una altura comprendida entre los setenta y setenta y cinco centímetros, teniendo un elevado rendimiento y alta resistencia a encamarse (término usado para referirse a que la planta de arroz se ha inclinado o doblado, normalmente por no soportar su peso). El encamamiento suele derivar en que la planta sea más sensible a plagas. La duración de su periodo de cultivo se halla alrededor de los ciento treinta y cinco días. («JSendra – Copsemar» 2021)

### VARIEDAD BOMBA

Por su parte la variedad bomba, considerada como la más antigua de Valencia, presenta alturas superiores a la variedad JSendra, pudiendo alcanzar las plantas los ciento treinta y cinco centímetros, con la consiguiente necesidad de una resistencia al encamado más baja.

Su rendimiento es más bajo en comparación con el de otras variedades, su periodo de cultivo no llega a alcanzar los ciento treinta días. («Bomba – Copsemar» 2016).

La planta del arroz ha de enfrentarse a distintos factores, como las algas en su periodo de siembra, las plagas, enfermedades, la salinidad del suelo o las condiciones climáticas en las que se desarrolle la planta (temperaturas, precipitaciones, ... etc.) (Pliego de condiciones de la dop arroz de Valencia/arròs de València, GVA).

## LA SALINIDAD EN LOS CULTIVOS DE ARROZ

La salinidad del suelo es el contenido de sales contenidas en el mismo («Salinidad» [sin fecha]), afecta de distintas formas a las plantas, ya sea a su velocidad de crecimiento o su propio desarrollo. El efecto principal es estrés salino, produciendo un aumento de la energía que ha de emplear la planta para absorber agua. («Efectos de la Salinidad y la Sodicidad en los cultivos» [sin fecha]). Hay ciertos factores que influyen en la salinidad del suelo como la calidad del agua de riego, la aridez climática, el nivel freático superficial, el tipo de suelo y su drenaje o la topografía del terreno («Factores que influyen en la Salinidad y Sodicidad» [consulta 17 de marzo]).

La planta del arroz, que ha sido objeto de este trabajo, es una planta sensible a la salinidad del suelo, pues el estrés salino puede causar una peor absorción del agua y nutrientes, así como una reducción del crecimiento o del desarrollo de las hojas. En la fase de germinación muestra una buena tolerancia, mientras que en la primera quincena en la que se produce el crecimiento de la planta la salinidad puede tener mayores impactos en su desarrollo (Pérez-Domínguez et al. 2021; Montero et al. 2017; Valdés et al. 2018).

Los cultivos de arroz de la zona de la Albufera están sujetos a varios de los factores mencionados con anterioridad, como la aridez climática, el nivel freático o la calidad del agua empleada para su riego que puede favorecer la acumulación de sales si se emplea agua recirculada o agua cargada de sales (Universitat Politècnica De València 2014). Sin embargo, el cultivo de arroz puede contribuir a disminuir la salinidad del suelo entre otras mejoras que aporta a su entorno (Importancia arrozal Albufera, Oficina de Gestión Técnica del Parc Natural de l'Albufera).

Se definen valores mediante los cuales se clasifica el nivel de salinidad del suelo y los efectos en los cultivos que se pueden ver en la Figura 2, aunque hay plantas más sensibles e incluso centrando dicha afección, también afecta de forma distinta a las variedades existentes de arroz («Salinidad Del Suelo» 2023):

EC, dS/m	Nivel de salinidad	Efectos en los cultivos
0-1	Suelo libre de sales / no salino	Ningún efecto adverso causado por este problema.
1-2	Suelo pobre en sales	Algunos cultivos muy sensibles pueden ver cómo su rendimiento disminuye
2-4	Suelo moderadamente salino	Los cultivos sensibles a la salinidad pueden ver afectado en su rendimiento
4-8	Suelo salino	Casi todos los cultivos se ven afectado por esta condición de salinidad
8-16	Suelo muy salino	Sólo los cultivos altamente resistentes a la salinidad pueden crecer
>16	Suelo extremadamente salino	Prácticamente ningún cultivo puede crecer de forma económicamente viable

Figura 2 Tabla de niveles de salinidad y sus efectos en los cultivos. Fuente: Salinidad del Suelo (2023)

Siendo dS/m una unidad de conductividad eléctrica empleada para medir la salinidad del suelo.

## ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y SALINIDAD

Los siguientes índices proporcionan información sobre la vegetación o sobre características del suelo y suelen emplearse para el monitoreo de la vegetación. En este caso, el fin será analizar y evaluar la salud de los cultivos de arroz, y las características salinas del suelo en el que se desarrollan.

Dichos índices se obtienen a través de operaciones matemáticas realizadas entre las bandas espectrales de las imágenes satelitales, permitiendo realzar unas características específicas de interés.

Es fundamental considerar qué bandas espectrales se utilizan en las operaciones y cómo interactúan con los cultivos y el suelo para obtener la información adecuada. Ajustándose a los objetivos del estudio y que permiten cuantificar de manera precisa las cualidades a analizar, se han escogido aquellos índices que permiten cuantificar el estado de vigor vegetal de los cultivos, así como su biomasa o las características del suelo en el que se desarrollan los cultivos, particularmente en relación con la salinidad.

Por ejemplo para evaluar la salinidad del suelo, se emplearon los índices de ASTER\_SI y NDSI que se consideraron útiles dado que el agua refleja la energía en ondas cortas y las bandas del infrarrojo (empleadas en dichos índices) tienen longitudes de onda superiores a las bandas en las que el agua suele presentar una respuesta espectral de reflexión. Al no verse afectados por la interacción del agua serán de gran utilidad en la zona de estudio, pues suele presentar humedales en algunas épocas del año.

Para evaluar la vegetación se escogieron tres índices de vegetación con el fin de comparar los resultados obtenidos de cada uno. Se escogieron el NDVI, el GNDVI y el EVI.

Los índices se verán afectados por distintos factores como la resolución espacial de los sensores satelitales, el estado vegetativo del cultivo, o el tipo de cultivo.

Los índices escogidos se describen en el apartado de metodología, detallando las operaciones empleadas y la característica que permiten resaltar, son de carácter adimensional pudiendo adquirir valores entre el 1 y el -1, al tratarse de índices normalizados. Los valores fuera de dicho rango implicarían posibles errores en la calidad de los datos o respuestas espectrales anómalas.

## QGIS

QGIS (Quantum Geographic Information System/Quantum Sistema de Información Geográfica) es un software de libre acceso cuyo propósito es el manejo de sistemas de información geográfica mediante distintas herramientas. Con ella se pueden emplear bases de datos y fuentes de datos cartográficos, además de trabajar tanto con distintos formatos de archivos en los que pueden adquirirse los datos geoespaciales, dando versatilidad en la manipulación y análisis de dichos datos.

Destaca también las herramientas y complementos que posee, ampliando significativamente la posibilidad de analizar y emplear los datos geoespaciales (Gazaba [consulta 18 de abril]; «Quantum Gis (QGIS): Un Sistema de Información Geográfica basado en Software Libre - Kudos Ltda.» [consulta 18 de abril]; «Descubre QGIS» [consulta 18 de abril]).

Su empleo sirvió para la descarga de datos catastrales así como su modificación y cartografiado.

## TIMESAT

TIMESAT es un software gratuito empleado para el preprocesado y modelado de series temporales así como el cálculo de la fenología de dichas series, a partir de datos derivados de imágenes satelitales. Suele usarse para la caracterización de la dinámica de la vegetación en cultivos (Eklundh y Jönsson 2015; Jönsson y Eklundh 2004; «Welcome to the TIMESAT pages!» [sin fecha]). Si bien se trata de un software con muchas funcionalidades en el análisis de cultivos, en este Trabajo Final de Grado se ha empleado para suavizar series temporales y rellenar los valores de dichas series en los rangos temporales sin datos. También se han extraído y empleado en los análisis algunos de los parámetros estacionales de las dos variedades de arroz en los años y parcelas de estudio que se generan con TIMESAT.

## OBJETIVOS

El presente trabajo académico tuvo como objetivo analizar varios arrozales con características dispares mediante Índices de vegetación y salinidad, la obtención de parámetros agronómicos y el cartografiado de los índices de vegetación y salinidad.

Se plantearon dos casos, siendo la característica dispar en el primero de ellos el valor de salinidad y en el segundo de ellos la variedad del arroz cultivado.

En el primero de los casos, se enfocó en la interpretación de los gráficos temporales obtenidos con Google Earth Engine con el fin de comparar la salinidad detectada en dos polígonos catastrales clasificados con un nivel de salinidad distinto. Posteriormente, con el cartografiado de los índices se pretendía representar se forma visual los resultados.

En el segundo caso, se disponía de los datos de producción de dos campos de arroz de las variedades Bomba y JSendra. Adicionalmente a la obtención de gráficos temporales con Google Earth Engine se empleó TIMESAT, herramienta con la que se obtuvieron los parámetros agronómicos a fin de estimar el periodo estacional del cultivo.



## ÁREAS SELECCIONADAS

Como se ha mencionado anteriormente, las áreas seleccionadas se ubican en la Albufera, que comprende varios municipios de la provincia de Valencia.

El clima de la Albufera se ve afectado por la influencia del Mar Mediterráneo, que actúa como regulador térmico. La temperatura media anual suele ser de 18 °C, en invierno las temperaturas suelen ser moderadas sin llegar a ser inferiores a los 10 °C, teniendo unos veranos calurosos. La humedad de la zona suele ser alta pero variable, según la temporada del año y las condiciones climáticas que se den.

En cuanto a las precipitaciones rondan en torno a los 454 mm al año y suelen predominar en otoño y escasear en verano («La Albufera» 2019; «Parque Natural de la Albufera de Valencia - PN L'Albufera - Generalitat Valenciana» [consulta 5 abril]).

Para el estudio se han seleccionado dos polígonos catastrales y dos campos de cultivo situados en los términos municipales de Valencia, Sueca y Cullera, destacando los últimos dos por su producción de arroz y la calidad que este ofrece.(figura 3).

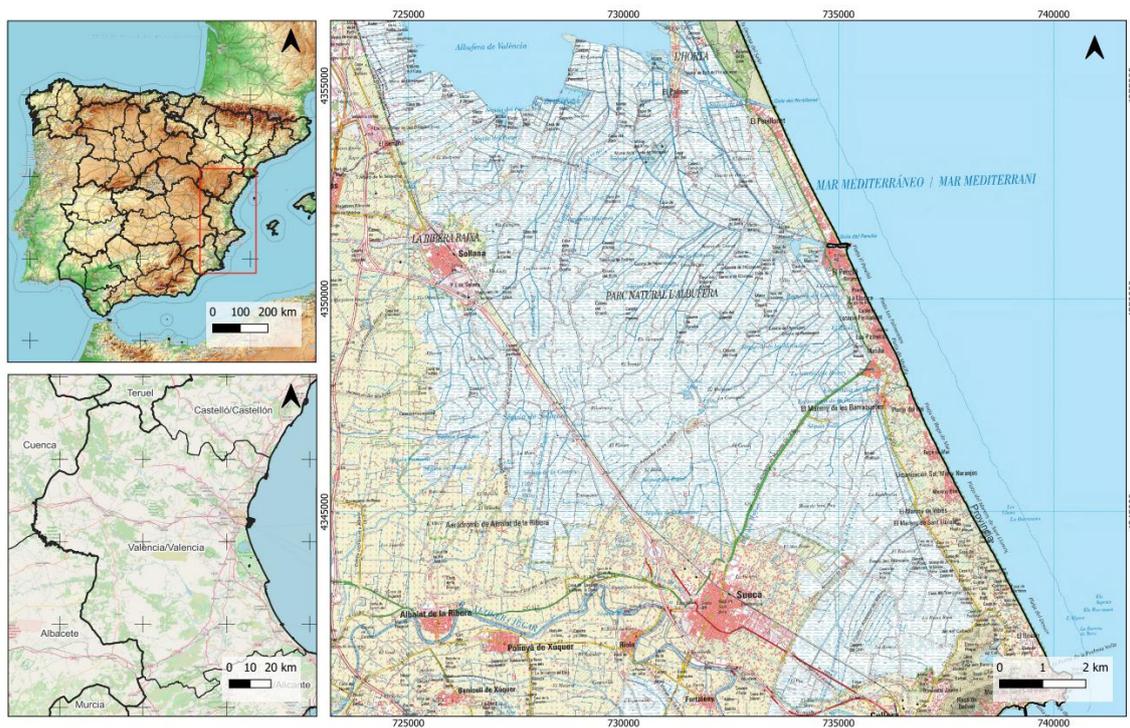


Figura 3 Áreas seleccionadas. Fuente: elaboración propia

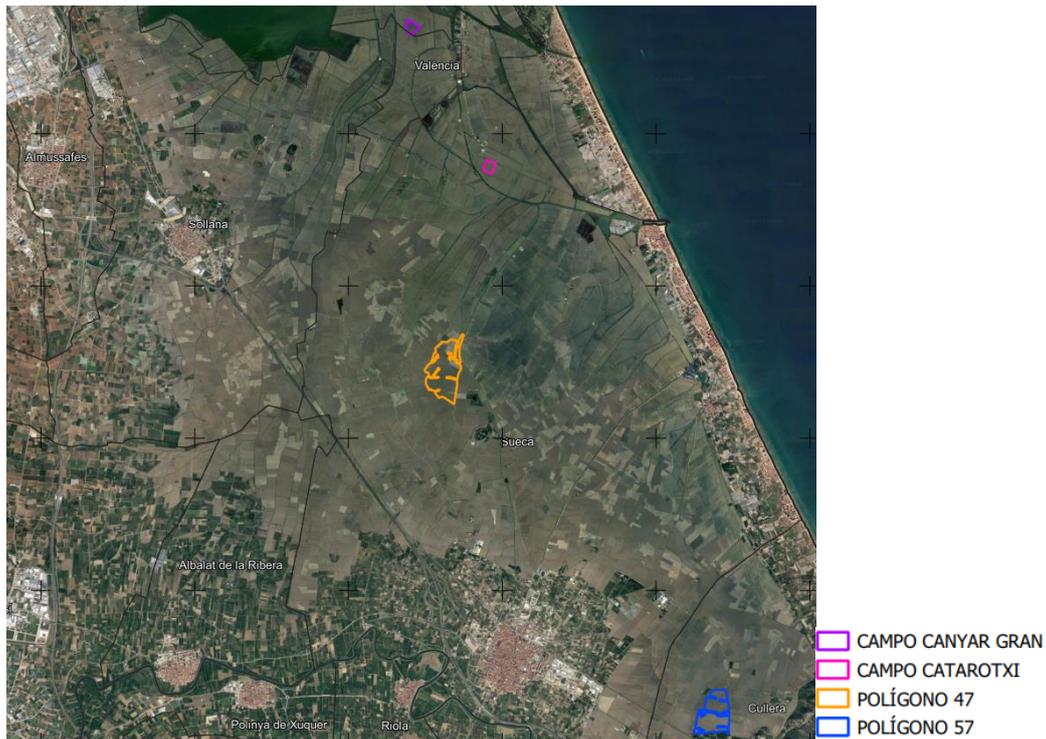


Ilustración 4 Visualización de las áreas seleccionadas sobre fondo de Google Satellite. Fuente: Elaboración propia

Las zonas de estudio comprenden las siguientes parcelas catastrales:

Término municipal	Denominación	Polígono	Parcela
Sueca	POL 47	47	1,5,9,11,12,14,15,16,17,18,19,20,22,23,26,27,28,29,30,31,32,33,36,38,39,40,41,44,47,48,51,53,56,57,58,60,61,62,63,64,65,66
Cullera	POL 57	57	1,2,3,4,5,6,7,8,9,40,41,42,43,44,46,47,48,51,52,54,62,66,67,68,69,70,71,72,73,77,78,81,82,84,85,87,92
Valencia	Canyar Gran	38	11
	Catarotxi	4	113,114,344,345,346

Tabla 1 Parcelas catastrales de las zonas de estudio y sus municipios correspondientes. Fuente: Realización Propia

Y las superficies que presentaban en un inicio eran las siguientes:

Zona de estudio	Superficie	Unidades
POL 47	64,914	Hectáreas
POL 57	46,461	Hectáreas
Canyar Gran	5,074	Hectáreas
Catarotxi	4,981	Hectáreas

Tabla 2 Superficies y unidades de las zonas de estudio. Fuente: Realización propia

Siendo las Hanegadas la unidad de medida de la superficie agraria empleada por habitualmente en la zona de los cultivos de arroz 'Canyar Gran' y 'Catarotxi', una hectárea equivaldría a 12 hanegadas, con lo cual las superficies de los campos de cultivo se pasaron a hectáreas resultando en un total de 5,07 ha y 4,98 ha respectivamente.

La superficie de los polígonos se ha calculado de forma aproximada, excluyendo parcelas de caminos o acequias detectadas mediante la aplicación de distintas herramientas de QGIS como el 'buffer' para la modificación de entidades, dicho proceso se ha detallado en la metodología de este trabajo.

La permeabilidad del suelo de las áreas seleccionadas es muy alta, lo que daría lugar a la una alta filtración y la consiguiente peor retención del agua («La Permeabilidad del Suelo para el Cultivo de Frutales | Intagri S.C.» [consulta 7 de abril]; «9. PERMEABILIDAD DEL SUELO» [sin fecha]; «Permeabilidad - ICV - Generalitat Valenciana» [consulta 7 de abril]):

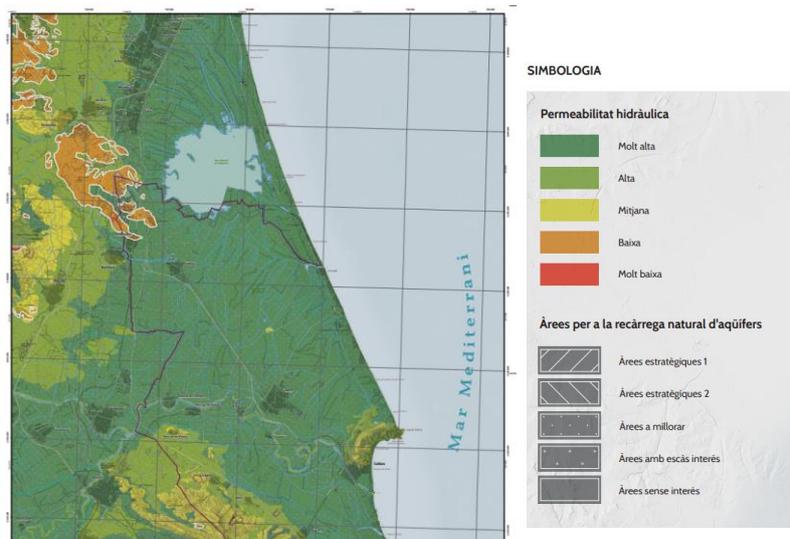


Figura 5 Permeabilidad del suelo en el área seleccionada. Fuente: Permeabilidad-ICV, Generalitat Valenciana

Teniendo en cuenta que la aridez del clima es un factor limitante de la salinidad del suelo, se consultó las características de la zona, presentando un clima semiárido y seco- subhúmedo en las zonas situadas más al sur, siendo aquellos áridos y semiáridos los que presentan mayores problemas de salinidad («Factores que influyen en la Salinidad y Sodicidad» [consulta 5 de abril]).

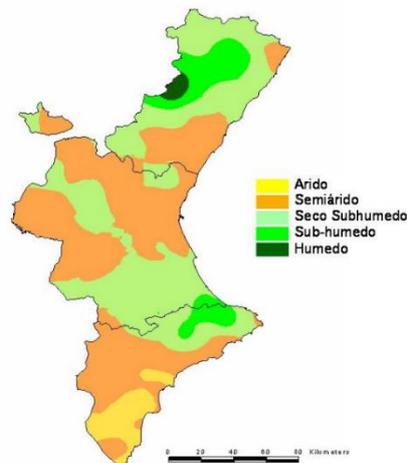


Figura 6 Aridez climática de la zona de estudio. Fuente: Factores que influyen en la salinidad y Sodicidad, Agrosal

## DATOS/FUENTES DE INFORMACIÓN

### Datos de cartografía catastral

#### Web catastro

El catastro es un registro administrativo en el cual se almacena información sobre bienes inmuebles del territorio. En España es mantenido por el ministerio de Hacienda

Su página web constituye una importante base de datos para la obtención de información de dichos inmuebles, ya sean urbanos, rústicos o de características especiales («Portal de la DGC: Catastro inmobiliario - Usos y utilidades» [25 de marzo]).

En este caso se empleó el visor cartográfico, que permite obtener la ficha catastral de una finca y saber el tipo de cultivos que tiene en el caso de que se trate de una parcela rústica.



Figura 7 Página Web de la Sede del Catastro de España. Fuente: Realización propia

#### Complemento de Inspire en QGIS.

En QGIS existe un complemento disponible de forma gratuita que permite descargar datos catastrales, tales como edificios, direcciones y parcelas. Dicho complemento procede de la directiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), creada por la unión Europea y cuyo fin establecer unos criterios comunes para la gestión de información Geoespacial en Europa («Quantum Gis (QGIS): Un Sistema de Información Geográfica basado en Software Libre - Kudos Ltda.» [consulta 25 de marzo; Estévez, 2019]).

En este caso se decide descargar las parcelas de los municipios de Sueca, Cullera y Valencia empleando este complemento para obtener los polígonos directamente en formato 'shape'

(formato de archivo vectorial empleado normalmente para almacenar información de datos geoespaciales) y poder modificarlos en el caso de que haya edificaciones o acequias próximas.

En la tabla de atributos de los datos descargados la columna 'localld' (identificador local de las parcelas empleado en el complemento) indica la parcela y polígono catastrales con los que se corresponden las entidades descargadas.



Figura 8 Complemento de QGIS 'INSPIRE' empleado. Fuente: Realización propia

### Datos de la cuenca hidrográfica del Júcar

Desde la página web del centro de descargas del CNIG (Centro Nacional de Información Geográfica) se descarga un fichero en formato *shape* para poder visualizar las acequias de la zona de estudio con mayor exactitud y descartarlas de las áreas seleccionadas, evitando que sus valores de reflectancia influyan en los datos. En este caso, dentro del conjunto de datos descargados, se selecciona el *shape* "hi\_tramocurso\_I\_Esp80".

### Datos de los límites provinciales y autonómicos

Desde la página web del centro de descargas del CNIG se descarga el fichero de límites autonómicos y provinciales en formato *shape*, pues estos datos se emplearon para el cartografiado efectuado en el trabajo.

### Datos Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2<sup>a</sup>A

En Google Earth Engine se dispone de una gran cantidad de Datasets, en este caso el que se emplea es el de 'Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A'.

Los productos obtenidos que se van a emplear son de tipo 2A, es decir, se les han aplicado correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas. Se encuentran disponibles entre los Datasets que ofrece Google Earth Engine.

Sentinel captura las imágenes en 13 bandas espectrales, su resolución temporal la zona de estudio es de 5 días combinando los datos de los satélites Sentinel-2A y Sentinel-2B y la resolución espacial varía según las bandas. En la tabla 3 se puede encontrar más información de las bandas empleadas.

Banda empleada	Resolución	Longitud de onda	Índices para los que se ha empleado
B2-Blue	10 m	492.1 - 496.6 nm	EVI
B3-Green	10 m	559 - 560 nm	GNDVI
B4-Red	10 m	664.5 - 665 nm	NDVI, EVI, SAVI
B8-NIR	10 m	833 - 835.1 nm	NDVI, GNDVI, EVI, SAVI
B8A-Red Edge 4	20 m	864 - 864.8 nm	NDSI
B11-SWIR 1	20 m	1610.4 - 1613.7nm	ASTER_SI
B12-SWIR 2	20 m	2185.7 - 2202.4nm	ASTER_SI

Tabla 3 Bandas de las imágenes satelitales empleadas. Fuente: Realización propia

### Datos de la Salinidad del suelo de Regadío

Para la selección de las zonas de diferente salinidad, se recurrió a la página de Agrosal. Agrosal es un equipo multidisciplinar dedicado a estudiar y dimensionar los efectos de la salinidad sobre la agricultura. Los datos recopilados por ellos acerca de la comunidad se emplearon como referencia. («Agrosal - La Salinidad en la Agricultura» [sin fecha])

Se distinguen dos zonas en la Albufera, una mayor salinidad ('Moderadamente salino, CEes: 4-8 dS/m') donde se ubica el polígono de Sueca (47) y otra con menor salinidad ('Ligeramente salino; CEes: 2-4 dS/m') en la que se sitúa el polígono de Cullera (57).

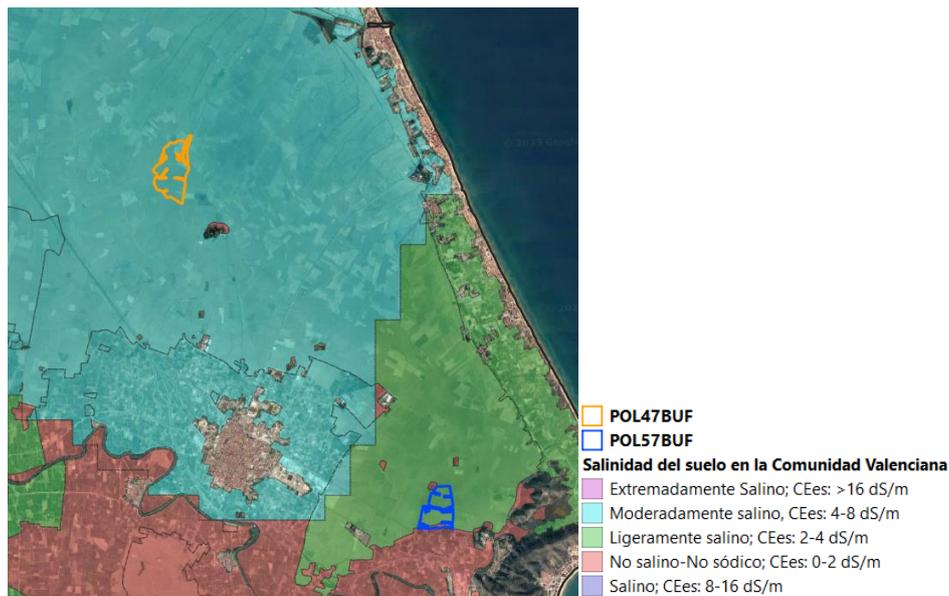


Figura 9 Salinidad del suelo y área seleccionada. Fuente: Elaboración propia, Referencia: Agrosal- La Salinización en la agricultura.

## Datos de la producción de los cultivos de arroz de los campos de Catarroxi y Canyar Gran

A través de Juan Antonio Muñoz, propietario de los campos objeto de este estudio, se obtuvieron los datos de producción para dos campos de arroz.

Uno de ellos, fue el denominado 'Catarroxi', en el cual para el periodo de los años 2018, 2020, 2021 y 2022 se cultivó la variedad bomba. Dicho campo se sitúa en el término municipal de Sueca y se constituye por un total de cinco parcelas (Tabla 1).

Por otro lado, el segundo campo del que se aportaron datos fue en el campo denominado 'Canyar Gran' que abarca una parcela (Tabla 1)., situado en el término municipal de Valencia y en el que se cultivó la variedad JSendra para los años 2020, 2021 y 2022.

En el año 2019 se cultivaron otras variedades de arroz en ambos campos y por ello se descartaron.

### Datos Climatológicos de la Comunidad Valenciana

Se consultaron los datos mensuales de interés de la página de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) (Meteorología [sin fecha]), en concreto aquellos datos de precipitaciones medias, temperaturas medias y precipitaciones acumuladas en los informes mensuales de los meses de mayo, junio, julio y agosto para los años de estudio.

### Datos mensuales de irradiación

Se consultaron datos solares de la irradiación global horizontal y la irradiación directa normal para las coordenadas de un punto ( -0.324681,39.254062) ubicado en medio del polígono catastral 47 de Sueca.

Estas irradiaciones venían expresadas en kWh/m<sup>2</sup> y eran la suma mensual de la irradiación a consultar. La irradiación directa normal se considera en un plano perpendicular a los rayos del sol y la irradiación global horizontal sería la irradiación a un plano horizontal («JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission» [sin fecha]).

## METODOLOGÍA

Los pasos realizados fueron los presentados en la figura (10):

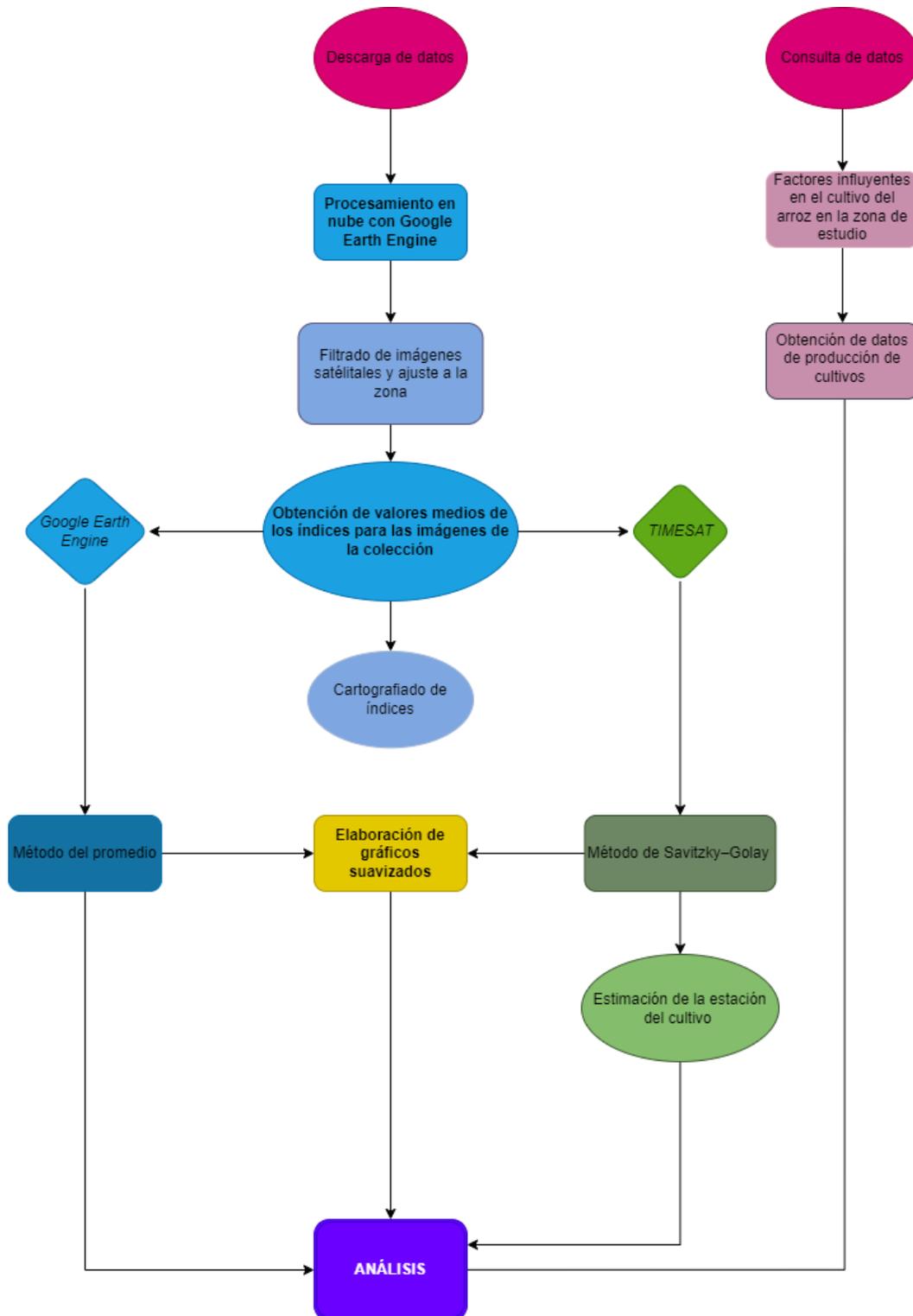


Figura 10 Diagrama de la metodología empleada, Donde los procesos relacionados con la búsqueda de datos adquieren tonalidades rojas, los procesos de Google Earth Engine azul y aquellos elaborados con TIMESAT verdes. Fuente: Elaboración propia



## Descarga de datos

En primer lugar se realizó la descarga de los datos necesarios para el análisis y para el cartografiado.

Se descargó un archivo que contenía los límites municipales, provinciales y autonómicos y también se descargó un archivo que limita las zonas de la provincia de valencia en función del nivel de salinidad del suelo.

## Selección de las zonas de estudio

Posteriormente se creó un proyecto en QGIS, pues a través del complemento de descarga de información catastral se realizó la descarga de información catastral, de parcelarios y edificios de Sueca, Cullera y Valencia.

Dado que un parcelario descargado de Inspire no permite su edición, se corrigieron las geometrías derivando la información en una capa temporal editable y en su tabla de atributos se eliminaron aquellas columnas que no iban a ser empleadas, creándose una nueva columna 'POL' mediante el uso de 'Field Calculator'\* y aplicando la siguiente fórmula:

*Substr ("localId, 7,3)*

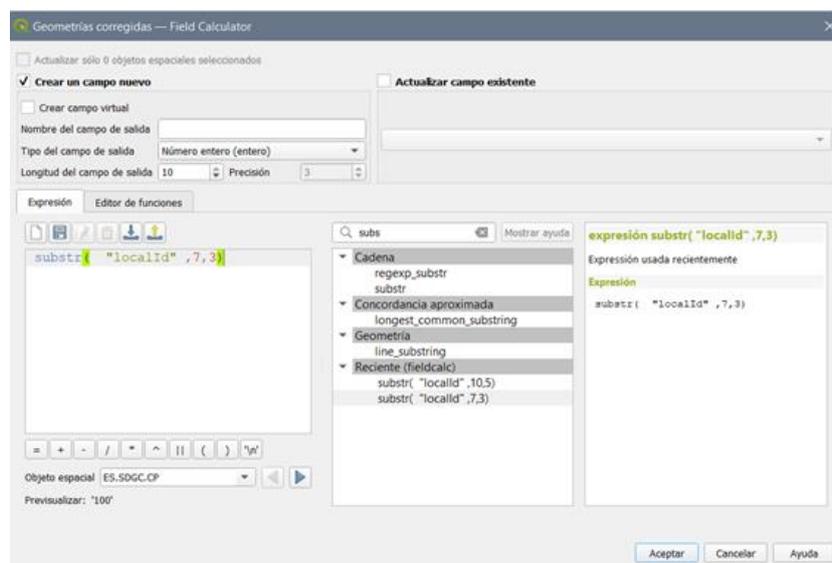


Figura 11 Creación de una columna indicativa del polígono catastral en QGIS. Fuente: Realización propia

De esta forma se obtuvieron los valores de la cadena "localId" y se extrajo una subcadena de 3 caracteres a partir del séptimo carácter, i que es la numeración correspondiente al número del polígono catastral. Una vez creada esta nueva columna en la que se informaba del polígono al que pertenecía cada objeto de la tabla de atributos de la capa, se procedió a filtrar las parcelas según el polígono correspondiente. En el caso de Sueca, se seleccionaron las parcelas asociadas al polígono 47, mientras que en el caso de Cullera se seleccionaron las parcelas del polígono 57.

Para los campos de cultivo de arroz se realizó un filtrado según la referencia catastral seleccionando los siguientes valores de 'localId' para el campo denominado 'Catarroxi': 46237A00400113, 46237A00400114, 46237A00400344, 46237A00400345, 46237A00400346. Mientras que para el campo de 'Canyar Gran' se seleccionó el siguiente: 46900A03800011.

Se aplicó una diferencia respecto a la capa de los edificios, seleccionando aquellos de la zona y empleando el proceso geométrico de 'diferencia' (Figura 12). Aun así, había edificios que en dicha capa no estaban representados y eran visualmente evidentes, por ello, con la herramienta de digitalización avanzada se realizó un recorte de aquellas zonas o partes no relevantes para el análisis puesto que el análisis se quería centrar únicamente en cultivos y evitar así la influencia de otros elementos en la precisión de los resultados (Figura 13).



Figura 12 Edificios seleccionados del municipio de Sueca para aplicar una diferencia respecto al polígono objeto de estudio. Fuente: Realización propia

El siguiente paso fue eliminar aquellas parcelas correspondientes a cursos de agua, como acequias u otros elementos dado debido a que por sus propiedades la reflectancia sería distinta a los cultivos de arroz y afectaría a los índices de vegetación y salinidad. Para ello a las capas de parcelarios se les dio cierta transparencia y se vio por dónde pasaban los cursos de agua. Seleccionando las parcelas afectadas, se eliminaron.

En este paso, en el caso de los polígonos, se eliminaron también las parcelas representativas de los caminos (no interesaban ya que podrían introducir píxeles que alterasen los resultados).

A simple vista se podía observar que los polígonos y sus parcelas presentaban un borde de vegetación o zonas de boqueras (método tradicional empleado para el riego de cultivos mediante el uso de canales) (Gil Meseguer y Gómez Espín 2006; laverdad.es [consulta 21 de abril]) en general, que podrían introducir modificaciones en los valores de los índices.



Figura 13 Eliminación de una posible boquera mediante la herramienta de digitalización avanzada. Fuente: Realización propia

Los márgenes se deben a que, de acuerdo con la información consultada al agricultor del que proceden los datos de cultivos de arroz, suele dejarse una zona sin cultivar.

Se decidió aplicar un 'buffer' de -10 m para restar una parte de la superficie, dicha cifra se aplica a ambos polígonos y a ambos campos de cultivo. Pese a ser una gran distancia para eliminar los bordes, se realizó con el propósito de evitar la influencia de áreas exteriores en los análisis, así como de los caminos y acequias eliminados estableciendo un valor contante para todas las áreas de estudio (Figura 14).



Figura 14 Diferencia resultante entre la superficie inicial y la final del campo de Canyar Gran. Fuente: Realización propia

Quedaron así definidas las zonas de estudio a definir contando con las siguientes superficies:

Zona de estudio	Superficie (ha)	Superficie de estudio (ha)
POL 47	64,914	57,100
POL 57	46,461	39,117
Canyar Gran	5,074	4,122
Catarrotxi	4,981	4,552

Tabla 4 Superficies resultantes al redefinir las áreas de estudio. Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado todo este proceso, se guardan como archivos shape, exportando los datos.

## Procesamiento en Google Earth Engine

En primer lugar se creó un código (nuevo script) y se comenzó cargando los archivos shape desde la ventana de “Assets” correspondiente a los polígonos catastrales seleccionados previamente en QGIS, denominados POL47 y POL57, así como los campos Catarrotxi y Canyar Gran.

Se realizó una transformación de la proyección EPSG:25830, la empleada en el proyecto de QGIS en el cual se definieron las áreas de estudio, a EPSG:32630. Con ello se pretendía asegurar un análisis espacial correcto de los datos puesto que en Google Earth Engine la proyección por defecto es EPSG:32860 y emplea el mismo geoide que la proyección EPSG:32860, evitando posibles errores que puede suponer realizar numerosas transformaciones entre geoides y mantener la integridad de los datos. En dicha reproyección se empleó un margen de error con el fin de moderar las posibles discrepancias que podrían ocurrir al aplicar la transformación de una proyección a otra.

Se definió una función ‘Timefield’ que aplicado a las imágenes permitía almacenar un atributo con el tiempo de inicio del sistema de procesamiento, es decir, se accedió así al campo de la información temporal de cada imagen para poder emplear la fecha asociada a cada imagen en el análisis posterior.

Se definió también la función de ‘proyección’, la cual almacenaba el código de proyección que se indicase y se empleaba para representar los datos en la proyección deseada (los polígonos definidos y los campos). Es decir, definía su proyección cartográfica. Se estableció la proyección ‘EPSG:32630’, es decir la proyección UTM de la zona 30N (en la que se sitúa Valencia) del WGS84.

Se definió la función ‘addvariables’, en la cual se definieron los índices de vegetación y salinidad mediante una serie de operaciones algebraicas a partir de las bandas de las imágenes.

## Índices de vegetación y salinidad

Los índices de vegetación y salinidad se usaron con el fin de extraer distintas características y según el valor que adquirieran podían indicar la intensidad con la que un píxel reflejaba la luz de las bandas espectrales utilizadas.

Los índices escogidos mencionados anteriormente en el apartado de introducción presentan las siguientes características (Alonso 2020; Gerardo y de Lima 2022):

**NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index, Índice de vegetación de diferencia normalizada), permite medir la densidad de la vegetación a través de la diferencia de las bandas rojas e infrarrojas, las plantas tienden a absorber la energía del infrarrojo. Cuanto más se aproxime a 1 su valor indicará una mayor densidad, y a -1 lo contrario («NDVI» 2021).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

*Ecuación 1 Fórmula del índice NDVI. Fuente: MappingGIS*

**GNDVI** (Green Normalized Difference Vegetation Index, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Verde), detecta la variación de la clorofila cuya reflexión de energía se da en las longitudes de onda del verde y en mayor medida del infrarrojo cercano.

$$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Green}}{\text{NIR} + \text{Green}}$$

*Ecuación 2 Fórmula del índice GNDVI. Fuente: MappingGIS*

**EVI** (Enhanced Vegetation Index, Índice de Vegetación Mejorado), monitorea la densidad alta de biomasa y es adecuado en regiones no montañosas. Para las imágenes de Sentinel-2, se pueden tomar el valor de 6 para la constante C1, 7,5 para C2 y 1 para la L.

$$\text{EVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + C1 \times \text{RED} - C2 \times \text{Blue} + L}$$

*Ecuación 3 Fórmula del índice EVI. Fuente: Índices de vegetación y su aplicación en la agricultura digital*

**NDSI** (Normalized Difference Salinity Index, Índice de Diferencia Normalizada de Salinidad) indica la salinidad del suelo, un valor cercano a 1 indicará un suelo de mayor salinidad. En este trabajo se decidió emplear la banda 8A dado que en ocasiones aporta resultados más precisos, con lo cual en la ecuación 4 en lugar de la banda del NIR se empleó la banda del 'Red Edge'.

$$\text{NDSI} = \frac{\text{RED} - \text{NIR}}{\text{RED} + \text{NIR}}$$

*Ecuación 4 Fórmula del índice NDSI. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022*

**ASTER SI** (Normalized Difference Salinity Index, Índice de Salinidad Normalizada ASTER), suele utilizarse para distinguir el contenido de salinidad del suelo, cuanto más próximo sea a 1 más baja será la salinidad del suelo.

$$\text{ASTER\_SI} = \frac{\text{SWIR1} - \text{SWIR2}}{\text{SWIR1} + \text{SWIR2}}$$

*Ecuación 5 Fórmula del índice ASTER SI. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022*

**SAVI** (Soil Adjusted Vegetation Index, Índice de Vegetación Ajustado al Suelo), este índice reduce las variaciones que el suelo introduce en los resultados. No es un índice que se use habitualmente para la salinidad, pero en algunos casos se ha empleado para evaluar la salinidad, de forma que valores próximos a -1 indican una alta salinidad en el suelo (Gerardo y de Lima 2022). Normalmente el valor de la constante L recomendado para zonas con densidad media de vegetación es de 0,5 pero, para la realización de este trabajo se escogió un valor de 0,2 puesto que se observó que era más adecuado. Cabe destacar que la L empleada para este índice no es semejante a la del índice EVI, pues en la fórmula del SAVI hace referencia a un factor de ajuste a la cobertura vegetal, mientras que en el índice EVI reduce los posibles efectos de las distintas reflectancias del suelo («NDVI» 2020).

$$SAVI = \frac{IRC-R}{IRC+R+L} \times (1+L)$$

*Ecuación 6 Fórmula del índice SAVI. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022*

Con el fin de cuantificar la vegetación y la salinidad de las zonas, se aplicaron dichas operaciones algebraicas a las bandas de las imágenes resultando en las siguientes expresiones:

```
var NDVI = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']);
var GNDVI = image.normalizedDifference(['B8', 'B3']);
var EVI = image.expression("2.5 * ((B8 - B4) / (B8 + 6 * B4 - 7.5 * B2 + 1))", {
  'B8': image.select('B8'),
  'B4': image.select('B4'),
  'B2': image.select('B2')
});
//salinidad
var NDSI = image.normalizedDifference(['B4', 'B8A']);
var ASTER_SI = image.normalizedDifference(['B11', 'B12']);
var SAVI =
(image.normalizedDifference(['B8', 'B4']).divide(image.select('B8').add(image.select('B4')).add(0.5))).multiply(1+0.2);
```

En lo referente a las fechas de las imágenes se utilizó la variable "timeField" para obtener el tiempo de la imagen de la colección a la que se le aplique la función, creando un objeto "ee.Date" con dicha información. A continuación, se calculó la diferencia en años entre esa fecha y la fecha de referencia "1970-01-01", almacenando el resultado en la variable "years".

La función "addvariables" devolvería así las imágenes reproyectadas en EPSG:32630 y con nuevas bandas correspondientes a los índices de vegetación y salinidad. También se agregó una banda temporal para analizar la evolución de los datos y una banda constante en caso de ser necesaria.

## Filtrado de nubes

Un factor limitante de la calidad de las imágenes es la presencia de nubes, dificultando la interpretación de estas.

Una de las funciones con las que se pretendía filtrar las nubes fue la de 'maskS2clouds', la cual empleaba una máscara correspondiente a los bits de las nubes y cirros (tipo de nube alta y delgada con apariencia fibrosa y plumosa («Cirro- Definition & Meaning» 2023)), se aplicaba la máscara eliminando píxeles que se identificasen con píxeles, se ajustaba la escala y se seleccionaban las bandas de interés.

Se definió la función "maskclouds" para filtrar las nubes en base a la banda "SCL". Se creó una máscara que eliminó los píxeles que cumplían con los criterios de nubosidad, ya que suelen tener valores cercanos a 3, 8, 9 o 10. . Se aplica a la imagen de interés a través del método 'updateMask()' para que aquellos píxeles que no cumplan con los criterios de nubosidad queden sin información y divide entre 1000 la imagen para ajustar los valores de los píxeles, obteniendo una escala más adecuada para la realización de cálculos y análisis (pues es un rango más manejable).

Finalmente, tras varias pruebas se decidió aplicar el filtrado de 'maskclouds' pues aportaba resultados más coherentes al objetivo del estudio.

Posteriormente al definir la colección de imágenes se aplicó otro filtrado de nubes, en el cual se filtran las imágenes descartando aquellas que tengan un porcentaje de nubes inferior al 20%, pues era un porcentaje indicado en el catálogo de la colección de imágenes y con el cual se conseguiría una mejor calidad de los datos.

## Selección de la colección de imágenes

La selección de las imágenes del Sentinel-2 para este estudio se realizó a través de la creación de una variable llamada 'COL' en la cual que cargaba la colección de imágenes 'S2\_SR' (Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A) a partir de la cual se generaron los gráficos temporales de los índices de vegetación y salinidad.

En las fechas de filtración de las imágenes en lugar de elegir los 4 años en un solo proceso, se decidió trabajar de año en año al generar los gráficos con el fin de evitar trabajar con un gran volumen de datos, estableciendo manualmente el periodo de cada año al procesarlo.

A esta colección de imágenes se le aplicó el filtro para reducir las nubes y la variable 'addvariables', devolviendo las imágenes de la colección con nuevas bandas correspondientes a los índices.

Como en Google Earth Engine las imágenes de las colecciones suelen tener una proyección basada en WGS84, se decidió transformar todo a la proyección EPSG 32860, pues dicha proyección emplea el mismo geoide y simplificaría la interoperabilidad de los datos.

Para el cartografiado elaborado sin embargo se empleó datum de ETRS89, EPSG 25830, pues se suele emplear en el cartografiado de proyectos oficiales en España.

Uno de los problemas presentados a la hora de seleccionar las imágenes de la colección, era el hecho de que las zonas de estudio se situaban en una zona de solape de imágenes del huso 30 y el huso 31.

Dicho solape generaba dos valores distintos para el mismo píxel, generando diferencias entre los datos de cada banda en un mismo píxel y alterando los resultados de manera significativa. La razón de estas injustificadas discrepancias radica en que el algoritmo de corrección de efectos atmosféricos empleado por la ESA producía distintos resultados en un mismo píxel al ser las dimensiones de las imágenes diferentes en su proyección en el huso 30 y en el 31. Por ello, se seleccionaron aquellas imágenes del huso 30, tras comprobar que se obtenía un mayor número de imágenes anuales y que facilitaría la creación de los gráficos. Esto viene reforzado por el hecho de que las zonas de trabajo, así como gran parte del territorio valenciano queda ubicado en el huso 30.

#### *Ajuste de las imágenes a las zonas de estudio*

Para ajustar las imágenes a las zonas de interés se les aplicará un 'filterBounds' definiendo nuevas cuatro nuevas variables: para el polígono 47, el polígono 57, los campos de Catarotxi y Canyar Gran. A través de este procesado se redujo el número de imágenes que se procesarían, pues como resultado se filtraría la colección seleccionando las imágenes que quedaban superpuestas a las zonas de estudio.

#### *Elaboración de los gráficos*

Para los gráficos se definieron las variables de los índices de la siguiente forma: 'índice\_nombre del índice', pues agilizaría el proceso llamar a la banda de dicha forma y permitiría establecer un título intuitivo de manera breve en cada gráfico temporal, además de indicar en el eje y de los gráficos que valor se estaba tratando.

Los gráficos se definieron con el siguiente proceso:

Con el método 'ui.Chart.image.seriesByRegion()', que genera gráficos por región, se definió como región la zona de estudio de la que se quería obtener el gráfico junto con otros parámetros como la escala, de 20 m dado que las bandas de menor resolución (la 11 y la 12) tenían ese tamaño, se definieron también los ejes al aplicar el método.

Para evitar que todos los gráficos fueran parecidos y que su comparación fuese más realizada, se modificaron opciones de la visualización de los gráficos usando los métodos de 'setChartType()' y 'setOptions()'. El tipo de gráfico se definió como 'ScatterChart' y se definió el tamaño del punto, los colores.

En lugar de hacer una exportación directa de los gráficos se realizó una visualización previa en la ventana de 'console' para poder supervisarlos.

Finalmente se descargó una imagen de cada uno de los gráficos obtenidos.

Por ejemplo en la siguiente Figura 15 se puede apreciar cómo se visualizaba inicialmente el índice EVI para el polígono57, donde los puntos representan la media obtenida en la banda para el día respectivo del eje x.



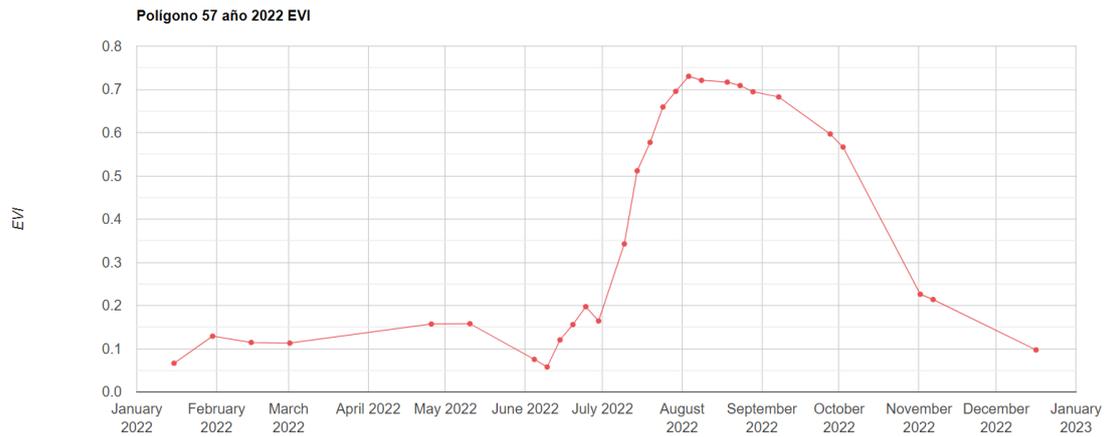


Figura 15 Gráfico de la serie temporal del índice EVI, año 2022. Fuente: Elaboración propia

### Suavizado de los gráficos con Google Earth Engine

Inicialmente los gráficos temporales tenían valores que distorsionaban la continuidad o incluso no presentaban valores en algunas situaciones. Esos valores, considerados 'outliers' pueden ser debidos a que, si bien las imágenes cumplen el umbral definido del 20% de presencia de nubes, sobre los polígonos de análisis pueden existir algunas que distorsionen las medias.

En algunos años se detectaron discontinuidades notables en los gráficos cuyo origen era la presencia de valores nulos. Con tal de solventarlo se aplicó el método 'interpolateNulls:True' en todos los gráficos evitando así que el problema apareciese nuevamente.

Con el fin de reducir la variabilidad de los datos y suavizar el ruido, se recurrió a un método de suavizado, basado en el cálculo del promedio y la desviación estándar de las imágenes seleccionadas en un periodo de tiempo definido (en este caso 20 días). Se consiguió así una representación de los índices empleados más continua y lógica, que permitía un mejor análisis en conjunto de los valores obtenidos.

En la Figura 16 se puede apreciar cómo se mejoró la representación del índice EVI del polígono 57 para el año 2022, se dejó una representación continua de la línea al aplicar el periodo mencionado de 20 días.



Figura 16 Gráfico de la serie temporal del índice NDVI suavizado en GEE. Fuente: Elaboración propia

## Obtención de los valores máximos y mínimos en el caso de los campos de cultivo de arroz

Para los cultivos cuyos datos han sido proporcionados por el propietario de los campos, se obtuvo el máximo y el mínimo anual de cada índice de vegetación y salinidad.

El cálculo de dichos valores se realizó seleccionando la banda específica del índice cuyo máximo y mínimo se quería obtener aplicando una escala de 20 metros. Se almacenaba así en la variable definida el valor máximo del NDVI.

Para poder identificar mejor cada dato se renombró al final de cada variable el nombre del máximo o mínimo.

Posteriormente se unieron los máximos y mínimos de todos los índices de cada campo de cultivo y se exportaron en formato CSV en el cual se almacenaban los valores de interés que se habían obtenido en los pasos anteriores.

## Generación de cartografiado de los índices de vegetación y salinidad

Los 'mapeos' de índices con una buena combinación de colores para su representación pueden ayudar a localizar zonas donde se presentan anomalías, quedando resaltados los píxeles en los cuales la media se desvía de la general del conjunto.

Para visualizar los índices de vegetación y salinidad de forma gráfica, se aplicó el promedio del índice de interés para cada píxel de las imágenes de la colección (que cumplieren con los filtros establecidos) y se recortó la imagen resultante de dicho promedio según la geometría de la zona de estudio de interés.

La asignación de paletas de colores fue lo más complicado dado que pese a que los índices podrían adquirir valores entre 1 y -1, los índices de vegetación no solían presentar valores bajos. En el caso de los índices de salinidad, el índice ASTER\_SI no mostraba muchos cambios y se estableció un rango de valores más pequeño para la banda de colores.

Para la representación se filtró la colección por periodos de tiempo más cortos (modificando el filtrado de fechas de la colección de imágenes) dado que se consideró que cartografiar la variabilidad anual de un cultivo era poco preciso y no permitiría analizar adecuadamente que zonas tienen una vegetación más saludable o presentan mayor salinidad. Por ello, se representaron los meses de junio y julio en el caso de los índices de vegetación, cuando se detecta el desarrollo del cultivo, y los meses de marzo y abril para los índices de salinidad, pues se estimó que en dichos meses el suelo no presentaría ningún tipo de cobertura vegetal que pudiese interferir en la precisión de los valores.

## Edición de los datos para su ajuste a TIMESAT y extracción de parámetros agronómicos

Para la elaboración de gráficos con TIMESAT y la estimación de las fechas del desarrollo de cultivo, denominado estación en TIMESAT, se exportaron varios CSV con las medias obtenidas en los índices de vegetación para los campos de cultivo de Catarrotxi y Canyar Gran en los años en los que se tenían datos de producción.

Se seleccionaron los índices de NDVI y GNDVI para poder compararlos dado que en Google Earth Engine fueron los que presentaron resultados más acordes con la realidad. Puesto que el satélite de Sentinel 2 captura imágenes cada 5 días se debería de disponer de 72 imágenes en un año. Como no se dio el caso debido al filtrado de nubes, se tuvo que insertar valores constantes y claramente identificables (se usó -99) en aquellas fechas sin dato. El programa permite que el usuario indique el valor asociado a una fecha sin dato y así se puede disponer de una serie completa de 72 imágenes en un año.

TIMESAT permite filtrar series temporales para eliminar irregularidades (al igual que se hizo en Google Earth Engine) y rellenar los huecos sin datos. Se ha empleado el filtro de Savitzky–Golay, el cual a partir de la aplicación de una regresión polinómica suaviza datos con presencia de ruido. Sobre la serie filtrada, este programa permite extraer los parámetros agronómicos de un ciclo de cultivo, tal como se puede apreciar en la Figura 17 (Schafer 2011; Ermida et al. 2020).

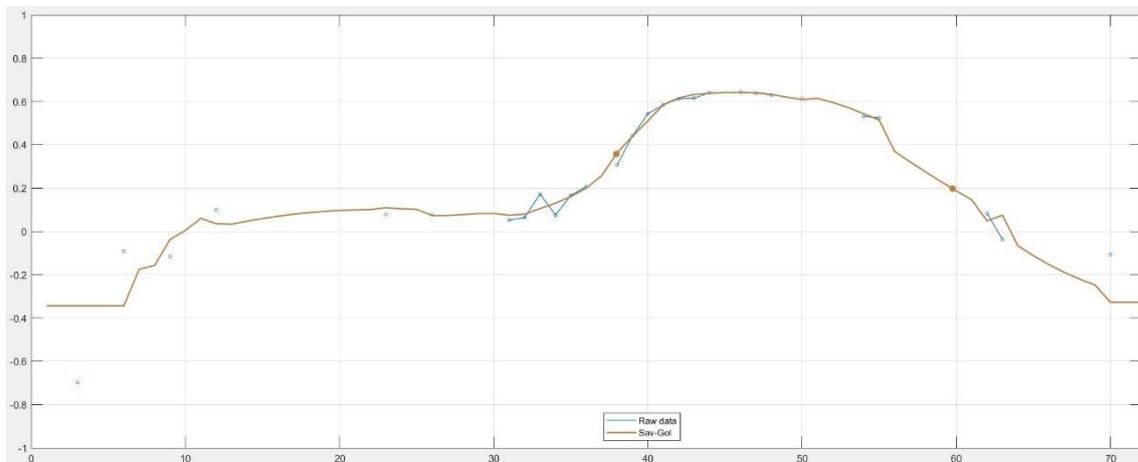


Figura 17 Ejemplo de serie suavizada con TIMESAT. Fuente: Elaboración propia

## RESULTADOS

Siguiendo la metodología descrita en el apartado anterior, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales se pasa a analizar en los subapartados sucesivos:

- Gráficos temporales de índices de vegetación y salinidad del polígono 47 de Sueca, del polígono catastral 57 de Cullera y de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran:
  - o Gráfico del NDVI medio
  - o Gráfico del GNDVI medio
  - o Gráfico del EVI medio
  - o Gráfico del NDSI medio
  - o Gráfico del ASTER\_SI medio
  - o Gráfico del SAVI medio
  
- Gráficos temporales de la evolución de los índices a nivel individual en el periodo de cuatro años para los polígonos catastrales y los campos de Catarrotxi y Canyar Gran.
- Tabla de valores máximos y mínimos de todos los índices para los dos campos de cultivo.
- Medias obtenidas en los polígonos catastrales anualmente.
- Mapas de los índices de vegetación y salinidad en el periodo de cuatro años para los polígonos catastrales.
- Estimación de la estación del cultivo del arroz en los campos de Catarrotxi y Canyar Gran.

## Análisis y comparación de los índices de vegetación y salinidad en zonas de distinto nivel salino en el suelo

Para los polígonos catastrales de los que se efectuó el análisis, es necesario destacar, antes de llevar a cabo un análisis general, que se trata de extensiones territoriales considerablemente amplias. Dentro de estas áreas, los valores que adquieren los píxeles varían mucho entre sí dependiendo de su ubicación específica en el polígono. Es importante tener en cuenta la posible presencia de factores desconocidos en el momento del análisis que podrían ser de gran relevancia para la interpretación de los datos. En otras palabras, incluso dentro de un mismo polígono, donde los píxeles se encuentran en una misma área clasificada como suelo salino, se observa una notable variación en los valores medios de dichos píxeles.

En los años objeto de estudio, se observó una distinción significativa en la época de cultivo, ya que se produce un aumento en los índices de vegetación durante los meses comprendidos entre mayo y octubre (aproximadamente). Este incremento se debe al desarrollo de las plantas, donde los cultivos reflejarían una mayor radiación en las bandas del infrarrojo y en la banda correspondiente al verde y una mayor absorción en otras bandas del espectro, al depender los índices seleccionados de dichas bandas.

### Análisis de los gráficos obtenidos para los índices de vegetación

Respecto al índice NDVI se obtuvieron valores entre el 0 y el 0,25 en los meses en los que no se cultivó arroz o en los que aún su desarrollo no había comenzado. Dichos valores los suele adquirir el índice NDVI en suelos desnudos, sin productividad o en fases tempranas del desarrollo de la vegetación ( Auravant, *Índices de vegetación y su interpretación* [consulta 21 de mayo]).



Figura 18 Gráfico temporal del índice NDVI suavizado en GEE. Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos próximos a 1 indicaban un mayor vigor en la vegetación existente.

Se observó una cierta dependencia del índice GNDVI de la radiación solar, pues como se ha mencionado anteriormente, este índice es un indicador de la clorofila, un pigmento que refleja la luz verde en mayor proporción y mantiene una dependencia de la luz solar, aumentando los niveles presentes de clorofila en las plantas cuando están más expuestas al sol (Okamoto et al. 2020; «Chlorophyll Index» 2022; 2020).

En las siguientes figuras puede observarse como la irradiación solar que se dio en los años 2019 y 2020 (aquellos de los que se consiguieron datos) aumenta a mediados de año presentando sus máximos valores en la época de crecimiento del cultivo del arroz, favoreciendo su desarrollo.



Figura 19 Irradiación solar mensual, directa normal, en un punto de coordenadas ubicado en el polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia

En el gráfico del índice GNDVI se muestra una mayor respuesta a las bandas empleadas en el cálculo del índice en dicha temporada.

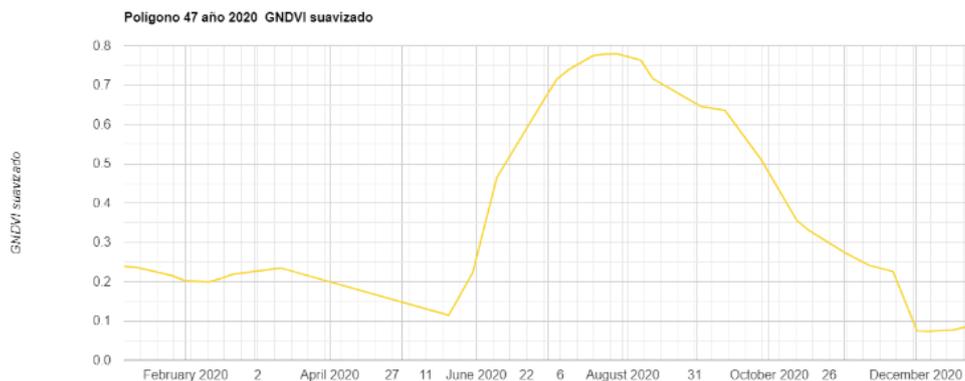


Figura 20 Gráfico temporal del índice GNDVI para el polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a lo que respecta el conjunto de años estudiados, los índices de vegetación NDVI y GNDVI sí que mostraban el alcance de unos valores medios algo superiores en el polígono 57 en comparación con el polígono 47. En la siguiente figura puede apreciarse como en el año 2021 el rango del gráfico de los índices de vegetación del polígono 47 de Sueca se limita a un 0,9 mientras que en el caso del polígono 57 de Cullera el rango del gráfico alcanza el valor de 1 (a pesar de que visualmente no se alcance dicha cifra).

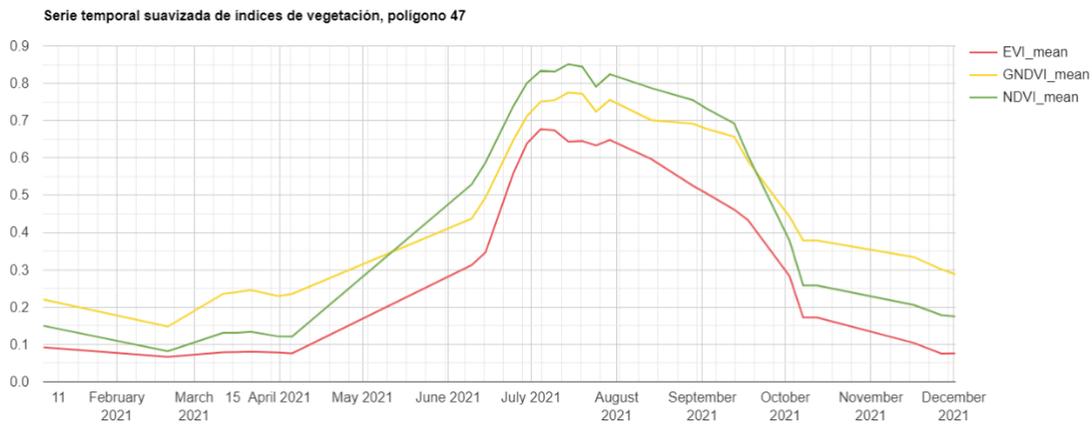


Figura 21 Serie temporal suavizada de los índices de vegetación del polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia

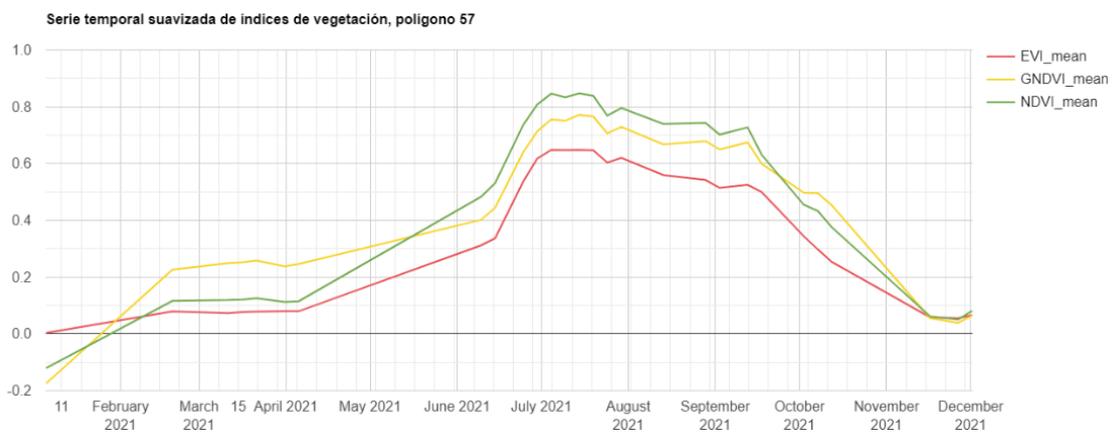


Figura 22 Serie temporal suavizada de los índices de vegetación del polígono 57 de Cullera. Fuente: Elaboración propia

Con relación al índice EVI, se observó que su respuesta espectral era similar a la de los otros dos índices de vegetación mencionados. Sin embargo, mostraba habitualmente valores medios más bajos para los píxeles. Esta diferencia en los valores podría haberse debido a que en comparación con otros índices de vegetación emplea la banda azul y coeficientes para la corrección atmosférica de los datos, presentando una menor saturación de sus valores cuando los cultivos alcanzan una cubierta vegetal densa.(Alonso 2020; «Calculo de índices de vegetación, NDVI, SAVI, EVI, NDWI con Landsat 8 de los Distritos Misiones e Itapuá, cercanas al Embalse de Yacyretá, Paraguay» [consulta 20 de mayo]).

### Análisis de los gráficos obtenidos para los índices de salinidad

Por otro lado, la reducción de los índices de salinidad ASTER\_SI y NDSI durante el periodo de cultivo puede atribuirse a la interferencia de la cobertura vegetal en los valores de reflectancia registrados en esas fechas. Por ello se ha evaluado las diferencias de salinidad antes y después de las temporadas de cultivo del arroz, tal como se menciona en alguna publicación (Gerardo y de Lima 2022). Se desconocían las condiciones en las que los campos de los polígonos catastrales estaban, dificultando la interpretación, pues como se puede ver en la figura, no todos los arrozales se encuentran inundados en las épocas que se esperaba.



Figura 23 Arrozales de la Albufera, Enero 2022. Fuente: Ionela Bona

En los periodos de enero a marzo, el índice ASTER\_SI presentaba un valor mayor que en los meses de marzo y abril, indicando un aumento de salinidad. Dicho aumento podría deberse a que los campos de arroz en los meses de enero y febrero presentasen un nivel bajo de agua pudiendo permitir un buen drenaje y una reducción de la sal presente en el suelo, mientras que en marzo y abril los campos se vaciaron y se dejaron secar. Por otra parte, en los últimos meses del año, se observaba un ligero aumento de la salinidad, que podría deberse a la pérdida de cobertura vegetal y a la inundación de los campos («Cultivo del arroz en la Albufera de Valencia | 🌿 Arrozales de Valencia» 2016). Los valores del índice NDSI experimentaban el efecto inverso en dichas temporadas, recordando el hecho de que su valor positivo indica una mayor salinidad a diferencia del índice ASTER\_SI que implicaría una menor salinidad. Puede decirse que ambos índices experimentaban una respuesta de la zona de los cultivos parecida.



Figura 24 Cultivos de arroz en plena temporada de desarrollo, en los alrededores de Sueca y Sollana, como ejemplo de la cobertura vegetal que en verano puede dificultar la precisión de los índices de salinidad empleados.

Fuente: Ionela Bona, Junio 2023



No se ha observado la diferencia notoria esperable entre ambos polígonos, encontrando incluso en algunas fechas que la media de los índices de salinidad empleados indicaba una mayor salinidad en el polígono 57 de Cullera, presupuestamente menos salino. Para justificarlo, habría que tener en cuenta como se ha resaltado anteriormente que las superficies tratadas son muy extensas.

En algunos años se notaba cierto aumento de la salinidad respecto a años anteriores (sin tener en cuenta la época de mayo a octubre), a excepción del 2020 para el polígono 47 que mostraba unos valores para los índices que implicaban menor salinidad o por ejemplo en el año 2021, el polígono 57 de Cullera cuyos valores para los índices de salinidad ASTER\_SI y NDSI implicaban una mayor salinidad.

En el siguiente gráfico obtenido para el índice NDSI se pudo observar cómo en aquellas épocas no correspondientes al cultivo de arroz, en el año 2021 se produjo una reducción de la salinidad

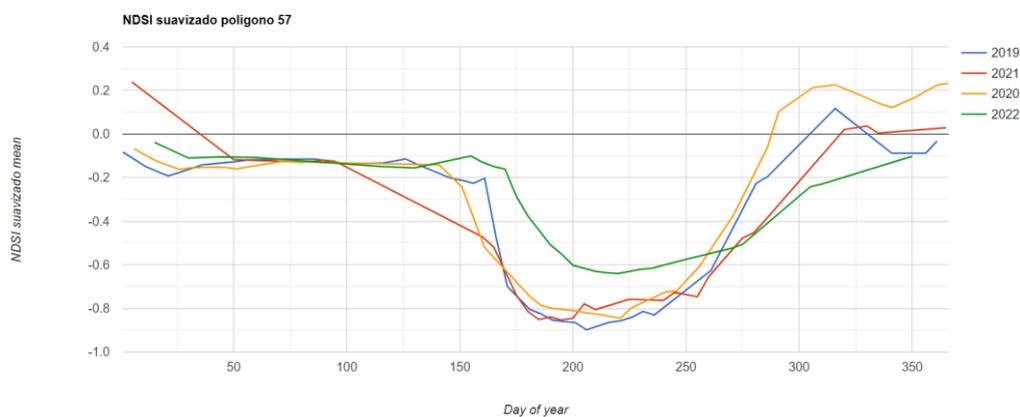


Figura 25 Gráfico temporal del índice NDSI suavizado con GEE del polígono 57 de Cullera los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en el caso del gráfico del índice ASTER\_SI, se observaba un comportamiento destacado durante el año 2022. Al inicio del año los valores eran significativamente superiores en comparación con los otros años analizados. Sin embargo, tras el periodo de cultivo del arroz, los valores del índice se vieron reducidos drásticamente, implicando una mayor salinidad del suelo.

En el resto de años, excluyendo la época de cultivo debido a la presencia de vegetación que puede afectar a los índices de vegetación, se aprecia un aumento del índice después del periodo de cultivo del arroz

Puesto que el aumento del índice conlleva una reducción de la salinidad, supondría que los arrozales favorecieron la reducción de la salinidad.

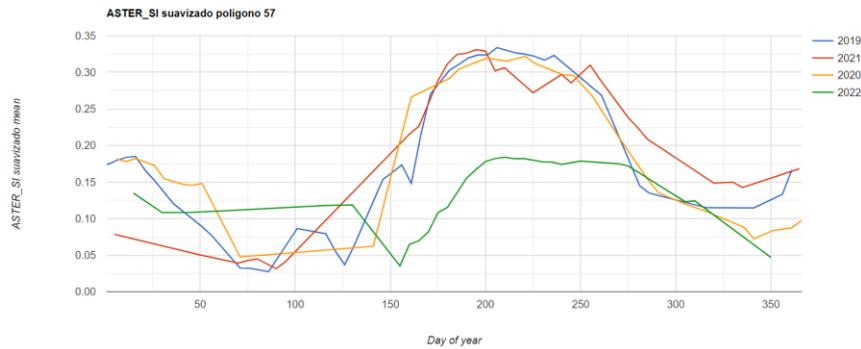


Figura 26 Gráfico temporal del índice ASTER\_SI suavizado con GEE del polígono 57 de Cullera los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia

En la superficie del polígono catastral 47, la respuesta espectral obtenida para los índices ASTER\_SI y NDSI solía presentar unos valores parecidos, a excepción del año 2021. Dicha diferencia podría haberse producido a que en los meses de febrero y marzo del año 2021 no se disponen de tantas imágenes satelitales, lo que produjo que la unión de los valores definiera una zona recta.

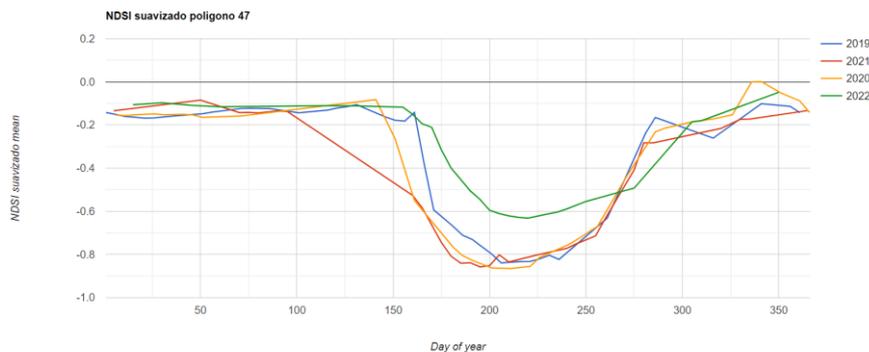


Figura 27 Gráfico temporal del índice NDSI suavizado con GEE del polígono 47 de Sueca los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia

Las irregularidades que presentaban los gráficos de los índices de vegetación podrían deberse en parte a la aplicación del suavizado en fechas de las que se disponía de pocos datos, así como las fases de sequía e inundación que podía haber presentado el terreno.

Al analizar las medias obtenidas en los índices de vegetación y salinidad, entre ambos polígonos no se presentaba una diferencia notoria.

El índice SAVI, aplicado para evaluar la salinidad, tomando como referente el artículo 'Sentinel-2 Satellite Imagery-Based Assessment of Soil Salinity in Irrigated Rice Fields in Portugal'(Gerardo y de Lima 2022) mostraba un valor negativo, indicativo de salinidad a finales del año 2020 y el año 2021, en especial en el polígono 57, en el cual en los índices de salinidad mencionados anteriormente en dicho año también se apreciaba un aumento de la salinidad.

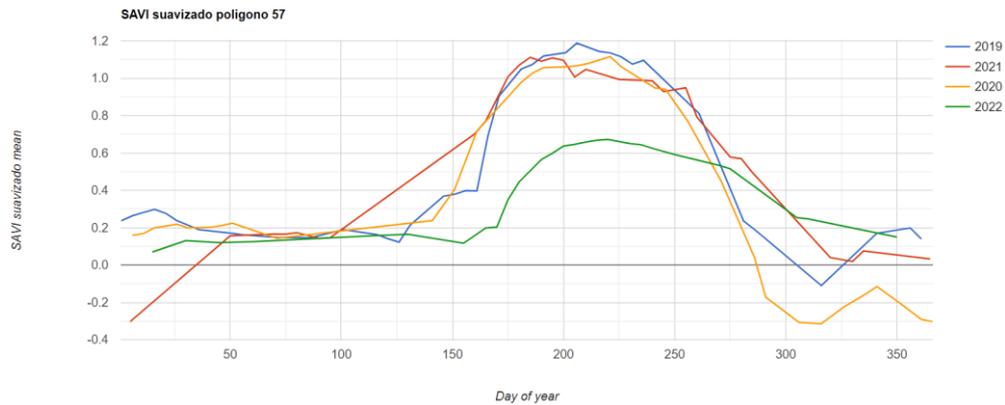


Figura 28 Gráfico temporal del índice SAVI suavizado con GEE del polígono 57 de Cullera los cuatro años de estudio para su comparación. Fuente: Elaboración propia

Interpretación global de los índices de vegetación y salinidad, así como la presencia de lagunas temporales.

Los gráficos presentaban algunas zonas huecas por el filtrado de nubes, dejando espacios de tiempo sin datos. Por ejemplo en el caso del gráfico del polígono 57 del año 21, mostraba un espacio con lagunas temporales en los meses de octubre y noviembre, mostrando de forma lineal la conexión entre los valores. Visualizando el mismo gráfico sin el filtrado de nubes, podía observarse de forma más diferenciada el cambio de la respuesta espectral de los cultivos de arroz en el mes de octubre. A principios del año sucedía algo parecido, pues no se tenía ni una sola imagen satelital en el mes de mayo y tan solo una en los meses de febrero y abril.

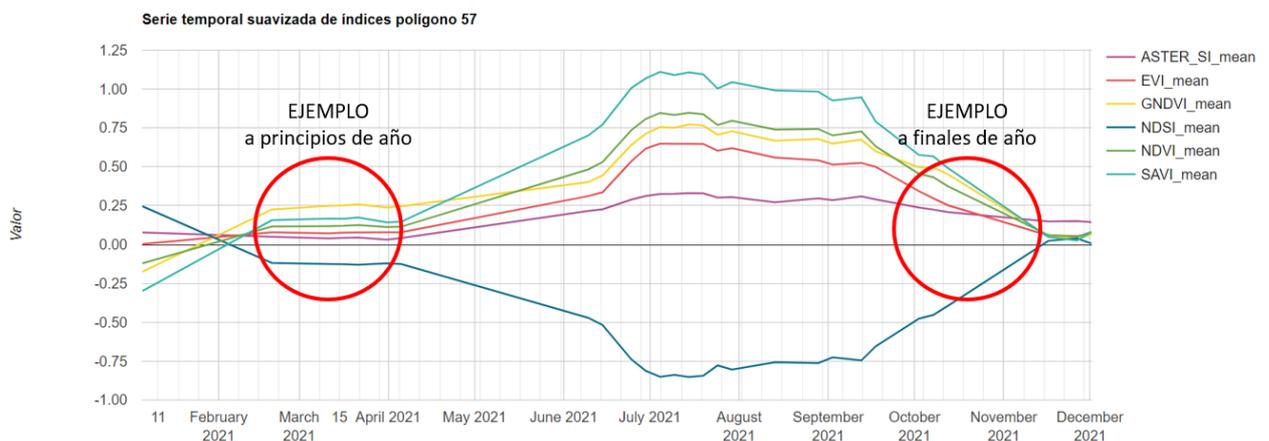


Figura 29 Ejemplos de espacios temporales sin imágenes que cumplan los requisitos de filtrado en el gráfico de índices del polígono 57 de Cullera. Fuente: Elaboración propia

Sin la aplicación del filtrado de nubes, podía apreciarse de forma más gradual la transformación que sufren los índices desde los meses correspondientes a la siembra del arroz y los meses de la cosecha del arroz (Figura 30). Pero la desventaja que habría tenido emplear dichos gráficos es el ruido que presentaban y la alteración de algunos índices, como el EVI, que se hubiese tenido que descartar por los valores adquiridos y el índice SAVI, cuya variabilidad a nivel visual era imperceptible.

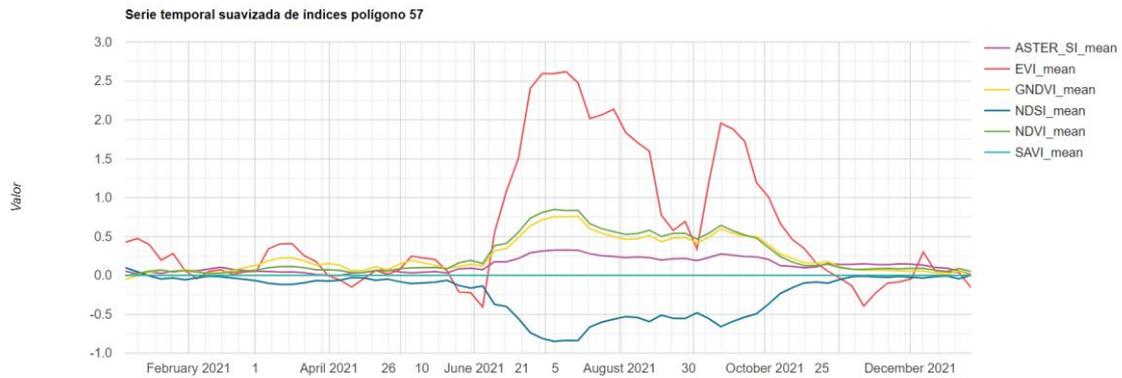


Figura 30 Visualización del gráfico de series temporales del polígono 57 de Cullera SIN el filtrado de nubes. Fuente: Elaboración propia

En los otros años por ejemplo, el conjunto de índices adquiriría una forma ‘circular’, en gran medida se debe a que en los primeros meses de crecimiento de una planta como la del arroz los cambios pueden notarse muy rápido de un día para otro, el hecho de no disponer de imágenes para algunas fechas de junio y que la separación de los datos sea de 10 o 20 días (como en el caso de los años 20 y 22) dio lugar a que la respuesta reflejada en las bandas fuese un cambio muy pronunciado en lugar de lento y progresivo en los meses de mayo y junio.

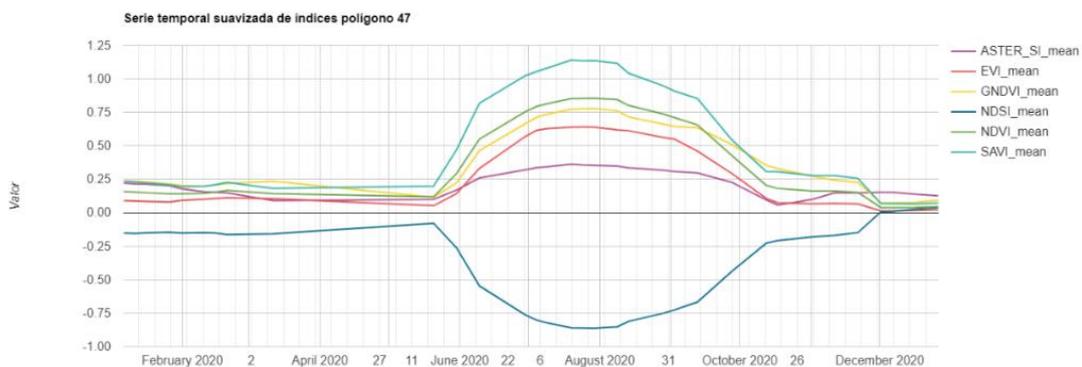


Figura 31 Serie temporal suavizada de los índices aplicados en el polígono 47 de Sueca. Fuente: Elaboración propia

### Año 2022 como caso anómalo

Los gráficos correspondientes al año 2022 mostraron un comportamiento de los índices notablemente diferente a los años anteriores. Los índices de vegetación manifestaban valores más pequeños en los meses de mayor vigor de la vegetación, alcanzando en los gráficos medias en torno al 0.6, en contraste con los años 2019, 2020 (Figura 31) y 2021 donde los índices representativos de la vegetación adquirirían valores superiores a 0,75.

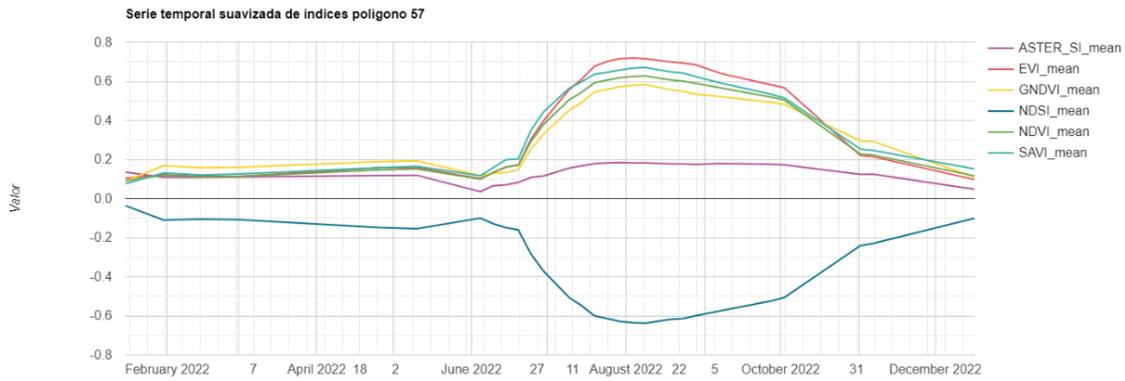


Figura 32 Serie temporal suavizada con GEE de los índices aplicados en el polígono 57 de Cullera en el año 2022. Fuente: Elaboración propia

En los gráficos de los años anteriores los índices presentan un cambio notable en torno a las mismas fechas: mientras que en el año 2022 el cambio visual que se da en la representación de los índices se atrasa, al igual que el cambio visto en los meses de cosecha, que en años anteriores parecía producirse a finales de octubre mientras que en el año 2022; dicha variación se observaba desplazada unos días, casi a principios de noviembre.

En cuanto a los índices empleados para evaluar la salinidad del suelo, en el año 2022 pese a las precipitaciones, los valores la respuesta espectral obtenida en las bandas empleadas para los índices de salinidad implicaba un aumento significativo de la salinidad existente en el suelo, pues en el gráfico se visualizaba un aumento de los valores del índice NDSI y una reducción de los valores medios ASTER\_SI. Dicho aumento puede deberse a que las plantas presentaban un peor estado (como indican los valores de los índices de vegetación) y posiblemente fue más fácil obtener la respuesta espectral relacionada con la salinidad. El índice SAVI presentó valores bastante inferiores a lo habitual en los años anteriores al año 2022.

Por ejemplo en el caso del polígono 47 en el año 2022 (Figura 33) puede apreciarse como en los meses en los que el campo no tiene cultivos de arroz, con el suavizado empleado y debido a la falta de datos en ciertas fechas, los índices mostraban poca variabilidad en el gráfico realizado en torno al valor 0,1 en el caso de los índices ASTER\_SI y SAVI, mientras que para el índice NDSI presentaba un valor negativo de -0,1.

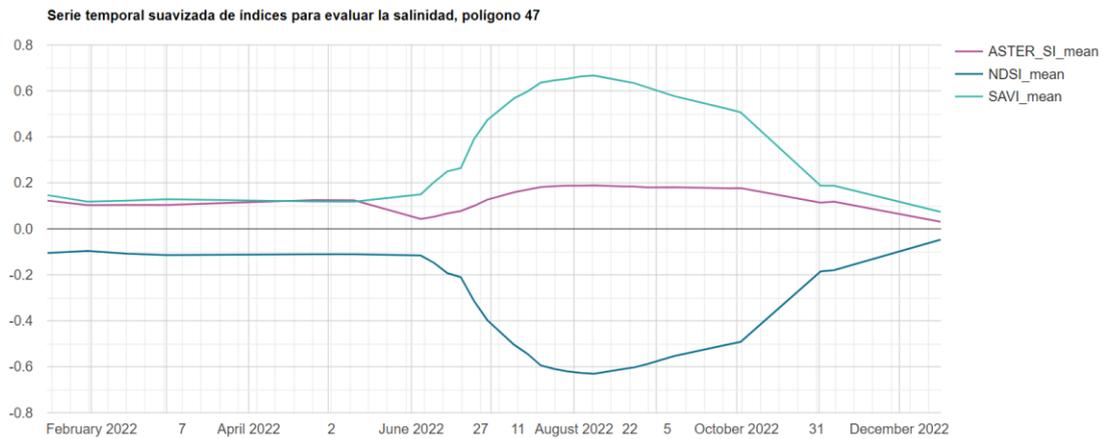


Figura 33 Serie temporal suavizada con GEE de los índices de salinidad aplicados en el polígono 47 de Sueca en el año 2022. Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, en el año 2020, los valores del índice SAVI son ligeramente más altos a principios de año en comparación con el año 2022 y el índice NDSI muestra una pequeña discrepancia, alcanzando valores cercanos a -0,2 en el año 2020.

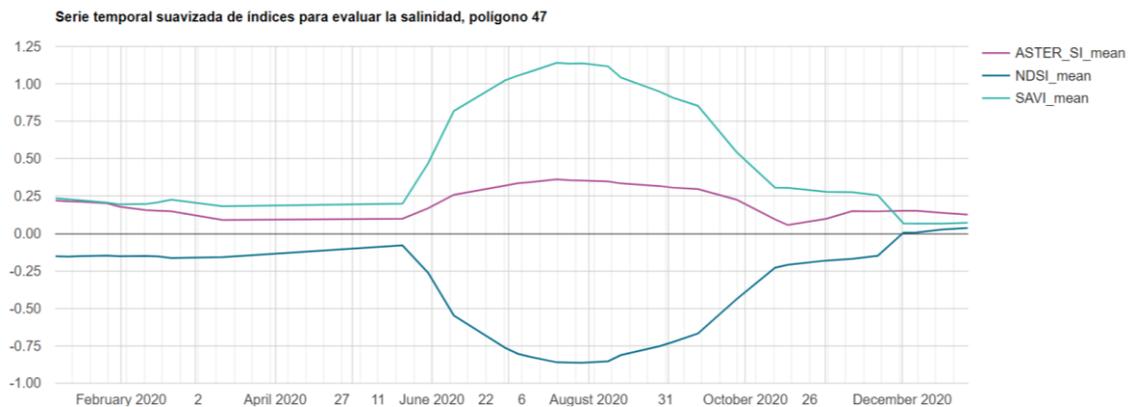


Figura 34 Serie temporal suavizada con GEE de los índices de salinidad aplicados en el polígono 47 de Sueca en el año 2020. Fuente: Elaboración propia

En los gráficos de los índices de salinidad podía diferenciarse también el retraso de la siembra del arroz en 2022 respecto a otros años, mientras que la línea se sesgaba en las fechas de mayo en años anteriores, en los gráficos obtenidos para el año 2022 los datos mostraban un cambio en las fechas de junio.

#### El clima, un factor más a considerar

Por la información encontrada acerca de las precipitaciones del año 2022, en el mes de mayo se produjo una mayor acumulación de agua en comparación con los años anteriores estudiados, mientras que en los meses de verano se registraron escasas precipitaciones. Por ejemplo en mayo de los años 2020 y 2021, la precipitación acumulada fue la siguiente:

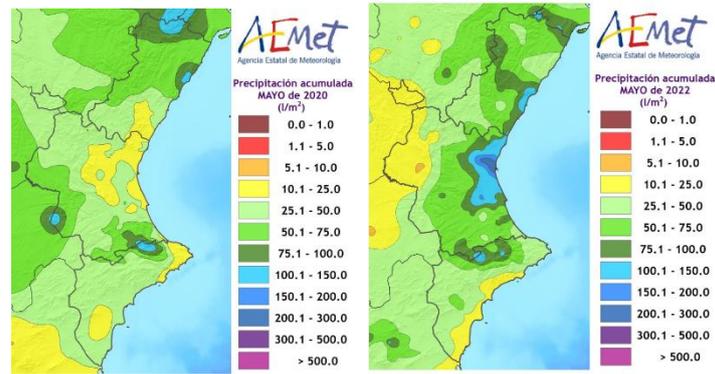


Figura 35 Visualización de las precipitaciones acumuladas en la Comunidad Valenciana el mes de Mayo en los años 2020 y 2022, expresado en litros por metro cuadrado. Fuente: AEMET- Agencia Estatal Meteorológica

En el año 2019, las precipitaciones del mes de junio fueron escasas y la acumulación de agua limitada, produciendo unas condiciones desfavorables para el cultivo del arroz. En los valores obtenidos se observó una ligera diferencia, pero fue más evidente al realizar el cartografiado de los índices, que aparecen en el apartado de ‘Análisis de la representación zonal de los índices de vegetación y salinidad para analizar el estado de los cultivos’.

Analizando la precipitación media dada en los meses de mayo, junio y julio, gráficos que se pueden encontrar en los anejos, se vio que en los meses de junio de los años 2019 y 2020 el promedio anual fue de carácter ‘muy seco’, en comparación con el promedio de los años 2020 y 2021.

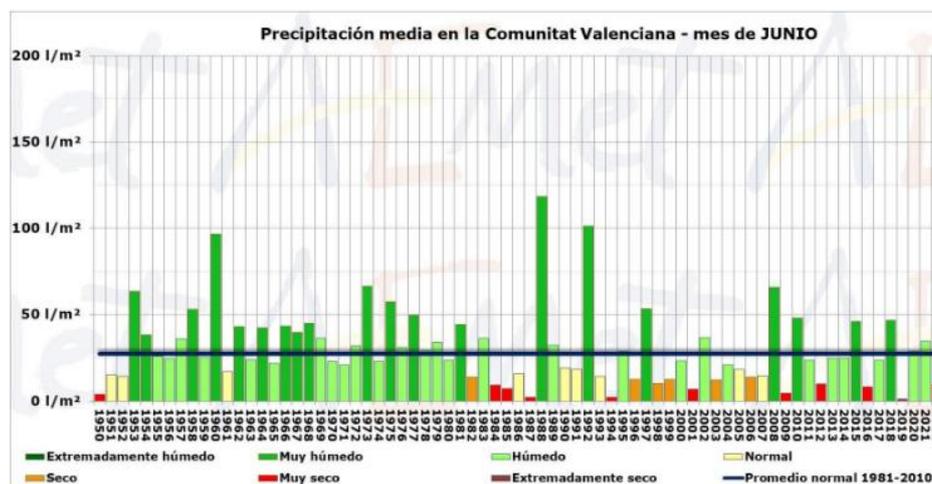


Figura 36 Precipitación media en la Comunidad Valenciana, mes de Junio. Fuente: AEMET- Agencia Estatal Meteorológica

En el verano del 2022 no sólo hubo escasez de lluvias, sino que además las temperaturas fueron extremadamente cálidas en los meses de junio, julio y agosto, siendo el año 2022 el único con un promedio de temperaturas extremadamente cálidas en los meses de mayo, junio, julio y agosto, siendo el promedio del año 2019 también extremadamente cálido en el mes de mayo.

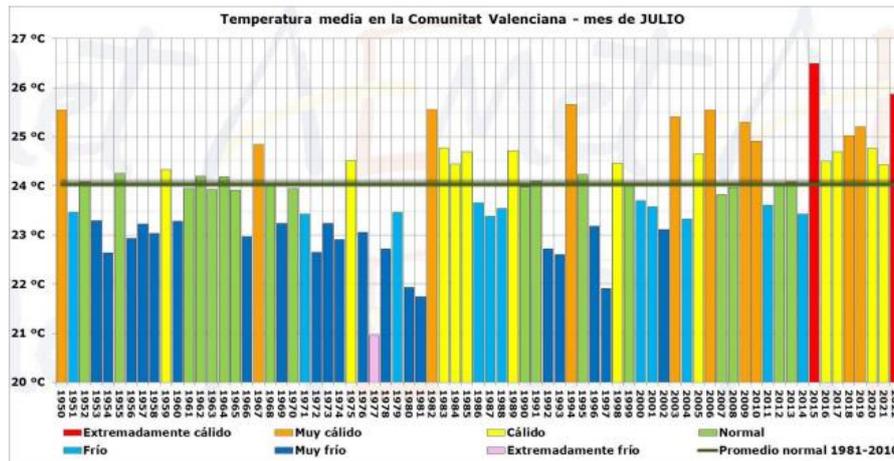


Figura 37 Gráfico de barras de la temperatura media en la Comunidad Valenciana el mes de Junio. Fuente: AEMET- Agencia Estatal Meteorológica

El año 2022 presentó condiciones desfavorables en términos de temperatura y precipitaciones, dos factores clave en el cultivo del arroz. Desde el inicio del desarrollo del arroz, que es una etapa especialmente sensible, hasta gran parte de su ciclo fenológico, el año 2022 experimentó peores condiciones que los otros tres años de estudio. Estas condiciones adversas podrían explicar por qué en los gráficos temporales de dicho año la vegetación no mostró un estado tan saludable.

La escasez de lluvias en los meses de verano del año 2022 pudo haber contribuido a la mayor salinización del suelo vista en la figura 33.



### Caso concreto de los campos de arroz 'Gran Canyar' y 'Catarrotxi'

En el caso de los campos de cultivo de Canyar Gran y Catarrotxi, el propietario de los campos de cultivo proporcionó los datos de las fechas de siembra y siega, la superficie de los campos, los kilogramos totales que se recogieron y los kilogramos por hanegada producidos.

	AÑO	total kg	Kg/hanegada	Kg/hectárea	fecha siembra	fecha cosecha
Canyar Gran <b>Jsendra</b>	2020	53962	886,2	10634,7	18 de Mayo	30 de Septiembre
	2021	53528	879,1	10549,1	20 de Mayo	6 y 7 de Octubre
	2022	47056	772,8	9273,6	7 de Junio	13 de Octubre
Catarrotxi <b>Bomba</b>	2018	25338	423,9	5087,1	7 y 8 Mayo	07 de Septiembre
	2020	27845	465,9	5590,4	16 y 17 Mayo	12 de Septiembre
	2021	27624	462,2	5546,1	17 y 18 Mayo	13 de Septiembre
	2022	14146	236,7	2840,1	4 y 5 de Junio	22 de Septiembre

Canyar Gran	60,89 Hanegadas
Catarrotxi	59,77 Hanegadas

Tabla 5 Datos de producción de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran

A partir de dichos datos y la información general sobre el arroz aportada por el agricultor, se puede comprobar que los gráficos temporales de los índices de vegetación mantenían relación con las épocas en las que el cultivo de arroz se encuentra en mejor estado, así como que en el año 2022 se obtenían unos valores significativamente menores, coincidiendo con un año muy malo para las cosechas de arroz por los motivos climatológicos descritos anteriormente.

Evaluando dicha información en relación con los datos de producción, podía notarse que los índices de vegetación no mostraban una diferencia entre las variedades de arroz.

Un ejemplo serían los años 2020 y 2021 considerados como años normales dado que no se dieron condiciones climáticas adversas. En dichos años en el campo de Canyar Gran en 2020 obtuvo una mayor producción y un mayor valor para los índices de vegetación que en el año 2021. Sin embargo, en el campo de Catarrotxi pese a que el año 2021 presentaba una mayor producción los índices no lo reflejaban, es decir, los índices de vegetación aportan información sobre el estado de la vegetación, pero estos no pueden emplearse como indicadores fiables para la estimación a priori de la producción. Dicha falta de relación es más notoria en el año 2022, en el cual el NDVI (que parece haber sido el más acorde con la información sobre los cultivos que fue aportada) presentó un máximo inferior al obtenido en años anteriores, poco diferenciado entre ambos cultivos, mientras que la producción de la variedad JSendra no se vio reducida de manera tan drástica como los kg obtenidos de arroz Bomba, que fueron aproximadamente la mitad que los años anteriores.

El descenso de los índices implicaba un peor estado de salud de la vegetación, dato acorde con los sucesos del 2022, pero su valor no se vio reflejado en los datos de producción. Resulta pues obvio que si el estado de la vegetación empeora por distintos factores, la producción será menor, pero la estimación de la producción en base exclusivamente a los índices de vegetación ha resultado ser imposible al tener en cuenta la variabilidad que presentan ambas variedades de arroz.

Como se ha indicado en la introducción de esta memoria, las diferencias genéticas entre ambas variedades son notorias, siendo la variedad Jsendra más resistente a aspectos desfavorables como el encamado o las plagas. En el año 2022 el propietario de los campos no solo mencionó

el problema dado por las condiciones climáticas, sino que también comentó la presencia de plagas que afectaron a los cultivos.

Por la información que se consultó, la variedad Jsendra presenta una mayor resistencia a encamarse y a las enfermedades, lo que puede explicar a qué se debía la diferencia en las producciones obtenidas en el año 2022 pese a la similitud que se daba en algunos índices calculados («JSendra – Copsemar» 2021; «Bomba – Copsemar» 2016).

Si bien los datos de producción y fechas aportados por el propietario han resultado de gran valor, su reducido número no permite generar modelos de estimación de producción fiables. Es por ello que, de cara a complementar los análisis relacionados con la producción, se ha decidido probar la fórmula indicada en el artículo ‘Sentinel-2 Satellite Imagery-Based Assessment of Soil Salinity in Irrigated Rice Fields in Portugal’ de Romeu Gerardo e Isabel P. de Lima, del año 2022, para obtener la producción aproximada de los cultivos de arroz de la variedad Ariete, conocido como arroz ‘Carolino’. Los resultados de la fórmula de daban en toneladas por hectárea, por lo que para la comparación con los datos de los campos de arroz de estudio se pasó la producción estimada a kilogramos por hectárea).

$$\text{Crop Yield (tons ha}^{-1}\text{)} = 23.641 \times \text{NDVI} - 10.343$$

*Ecuación 7 Fórmula de estimación de la producción de arroz en toneladas por hectárea. Fuente: Gerardo y de Lima, 2022*

Para la variedad Jsendra la estimación se aproximó a los datos reales del campo de Canyar Gran a excepción del año 2022 mientras que la variedad bomba presentaba unos resultados de producción y estimación empleando la fórmula muy desacordes.

	AÑO	NDVI	total kg	Kg/hanegada	Kg/hectárea	producción estimada kg/ha	fecha siembra	fecha cosecha
Canyar Gran Jsendra	2020	0,980	53962	886,2	10634,7	12815,3	18 de Mayo	30 de Septiembre
	2021	0,976	53528	879,1	10549,1	12725,6	20 de Mayo	6 y 7 de Octubre
	2022	0,671	47056	772,8	9273,6	5518,2	7 de Junio	13 de Octubre
Catarrotxi Bomba	2018	0,893	25338	423,9	5087,1	10773,1	7 y 8 Mayo	07 de Septiembre
	2020	0,890	27845	465,9	5590,4	10707,5	16 y 17 Mayo	12 de Septiembre
	2021	0,906	27624	462,2	5546,1	11067,7	17 y 18 Mayo	13 de Septiembre
	2022	0,698	14146	236,7	2840,1	6150,9	4 y 5 de Junio	22 de Septiembre

*Tabla 6 Adaptación de la tabla de los máximos y mínimos de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran, para mostrar las columnas relacionadas con los kilogramos por hectárea estimados y los obtenidos realmente a partir de la Ecuación 7. Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 7 se calculó de una manera más concisa la diferencia entre los datos teóricos y los reales, en la cual la diferencia entre el campo cuya variedad era JSendra obtenía unas diferencias de 2000 kg/ha, mientras que el campo de variedad Bomba la diferencia de producciones rondaba a los 5000 kg/ha.

	AÑO	NDVI	Kg/hectárea	producción estimada kg/ha	diferencia entre la producción estimada y la real (kg/ha)
Canyar Gran Jsendra	2020	0,980	10634,7	12815,3	2180,6
	2021	0,976	10549,1	12725,6	2176,5
	2022	0,671	9273,6	5518,2	-3755,5
Catarrotxi Bomba	2018	0,893	5087,1	10773,1	5686,0
	2020	0,890	5590,4	10707,5	5117,0
	2021	0,906	5546,1	11067,7	5521,7
	2022	0,698	2840,1	6150,9	3310,8

*Tabla 7 Adaptación de la tabla de los máximos y mínimos de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran, para mostrar las columnas relacionadas con la diferencia entre la producción estimada y la producción real. Fuente: elaboración propia*

En los años 2020 y 2021 se produjo una producción menor a la estimada en ambas variedades, siendo la diferencia con la estimación mucho mayor en el caso de la variedad Bomba. En general la variedad Jsendra se clasifica como una variedad cuyo rendimiento productivo es elevado, mientras que el rendimiento productivo del arroz bomba es bajo («JSendra – Copsemar» 2021; «Bomba – Copsemar» 2016).

Para el año 2022 la producción estimada para la variedad Jsendra fue menor a la producción obtenida, mientras que en el caso de la variedad bomba fue superior a los kg por hectárea cosechados.

Esto indica que, las variedades de arroz cultivadas presentan rendimientos muy diferentes por lo que los modelos predictivos deben circunscribirse única y exclusivamente a una variedad, sin ser extrapolables a otras. No debe olvidarse, para terminar con este análisis, que las condiciones geográficas y ambientales y las técnicas de cultivo pueden condicionar mucho las producciones.

No fue posible realizar una correlación de los datos debido a que no se disponía de valores de producción suficientes como para poder realizar un análisis desde otro punto de vista, pero sí que se realizaron algunos gráficos para la interpretación de la información, en los que un NDVI positivo implicaba una mayor producción ( $R^2 > 0,95$ ). En el caso del índice EVI, no se presentaban tendencias similares a los otros índices de vegetación empleados.

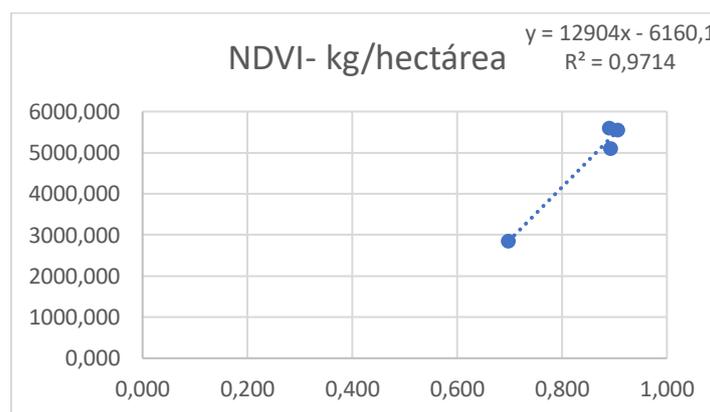


Figura 38 Gráfico de dispersión del índice NDVI y la producción del campo de Catarrotxi para un periodo de cuatro años. Fuente: elaboración propia

#### Análisis de los gráficos temporales de los campos Catarrotxi y Canyar Gran

Los gráficos de los campos de cultivo de arroz presentaban una superficie bastante inferior a los polígonos catastrales analizados, el polígono 47 de Sueca y el 57 de Cullera. Los gráficos mostraban un comportamiento de los índices parecido a los gráficos obtenidos para los polígonos catastrales, aunque las variaciones producidas en los meses de febrero y marzo eran más notorias en los gráficos de los campos de arroz de Catarrotxi y Canyar Gran.

En los gráficos se observaba que se producía un aumento de los índices de vegetación y la reducción del índice de salinidad NDSI a partir del mes y medio de la fecha de cultivo, el índice ASTER\_SI no pareció verse tan afectado. Dicha reducción pudo haberse dado por el riego de los cultivos y su drenaje, disminuyendo la sal existente del suelo.

Por ejemplo, en la Figura 39, en el campo de Canyar Gran, se podía observar dichos detalles sobre los índices, siendo la fecha de siembra el 18 de mayo, cuando se detectó un cambio en los índices de vegetación que pudieran suponer la detección de cultivos fue a principios del mes de junio, fechas en las que el cultivo del arroz estaría más desarrollado.

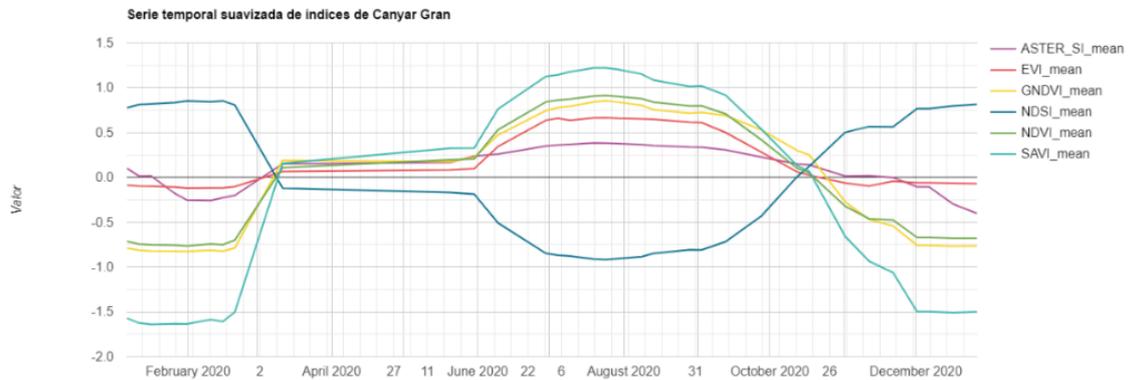


Figura 39 Serie temporal suavizada con GEE de los índices aplicados en el campo de Canyar Gran en el año 2020. Fuente: Elaboración propia

En el campo de Canyar Gran, la cosecha tuvo lugar el 30 de septiembre. Para obtener una visión más precisa de las fechas en las que se disponían las imágenes, se consultó el gráfico sin suavizado. Previamente a la fecha de la cosecha ya se podía ver un descenso gradual de los índices de vegetación. Sin embargo, en el tramo que se correspondía con la cosecha, la reducción de los valores de los índices de vegetación fue más notoria.

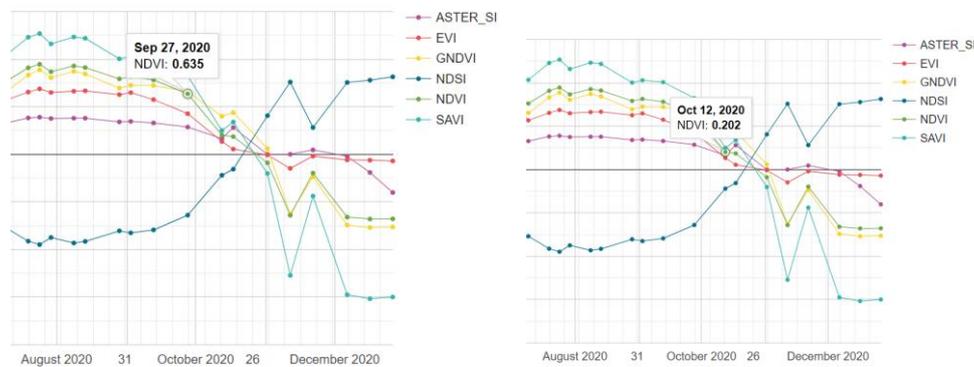


Figura 40 Visualización en detalle de la serie temporal sin filtros para ubicar en el gráfico el efecto de la cosecha de arroz y su efecto en la representación de los índices aplicados para el campo de Canyar Gran en el año 2020. Fuente: Elaboración propia

Según las fuentes mencionadas anteriormente («Cultivo del arroz en la Albufera de Valencia | Arrozales de Valencia» 2016), en la época de noviembre a diciembre se inundarían los campos, lo cual podría explicar la adquisición de valores negativos en los índices de vegetación en la figura 40.

En el caso concreto del año 2020 del campo de Canyar Gran, no hay imágenes satelitales que cumplan con los filtros requeridos, produciendo una zona sin valores desde el 11 de marzo hasta el 20 de mayo en los que era complicado analizar la respuesta espectral. Se consideró la visualización de dichos meses sin el filtrado de nubes pese a las alteraciones que podrían darse en los datos, pero no se diferenció ningún cambio notorio entre el vaciado de los campos en

marzo y abril y la inundación de los campos en mayo tras el sembrado, es decir, no enfocar la variación de los índices en la vegetación sino intentar relacionarlo con los cambios que se pueden dar en el suelo a principios de los años de estudio.

En cuanto al índice NDVI en el caso de los campos se adquirieron valores negativos a principios de año, hasta el mes de marzo (a excepción del año 2022 para el campo de Catarrotxi), valores que no siempre aparecían en los gráficos de los polígonos catastrales empleados para analizar distintas condiciones de salinidad. Los valores negativos del NDVI se atribuyen en ocasiones a zonas de agua (Auravant, Índices de vegetación y su interpretación [consulta 21 de mayo]), siendo coherente para las fechas en las que dichos valores se producen pero sin representar adecuadamente el inundado de los campos en su siembra (cuyo nivel de agua suele ser inferior que en los meses en los que no hay cultivos y se inundan los campos).

En los gráficos del año 2022 el índice EVI llegó a adquirir una media superior a los otros dos índices de vegetación, una tendencia que en años anteriores no se observó puesto que solía presentar una media inferior. Podría deberse a una mayor densidad de biomasa que no se encontraba en un buen estado de salud, pero debida a la poca concordancia con los otros índices en los campos de Catarrotxi y Canyar no es un factor que se considerase relevante para el análisis.

## Generación de gráficos temporales con TIMESAT y estimación del periodo estacional del cultivo de arroz

### Gráficos temporales con TIMESAT

Partiendo de los valores medios obtenidos para las imágenes de la colección de Sentinel-2 empleada en Google Earth Engine, se exportaron CSV correspondientes a los campos de cultivo de Catarrotxi y Canyar Gran para los años de los que se disponía de datos de la producción de los arrozales.

Tras la edición de los datos para su ajuste al formato empleado en TIMESAT y la aplicación de un suavizado, los gráficos suavizados eran parecidos a los efectuados en Google Earth Engine, aunque sus resultados diferían.

Por ejemplo en el caso del índice GNDVI aplicado para la zona del campo de Canyar Gran en el año 2021 el gráfico que se realizó sin ningún tipo de suavizado se puede encontrar en la Figura 41, en la cual la interpretación del índice a lo largo del año era algo confusa.



Figura 41 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran sin ningún tipo de suavizado para el año 2021. Fuente: Elaboración propia

Aplicando el filtrado del promedio de la ventana de 20 días, quedaban bastantes zonas en las que el promedio no había efectuado un suavizado del todo correcto, como en el caso del pico que se producía en agosto, cuya interpretación daría lugar a pensar que podría tratarse de una anomalía

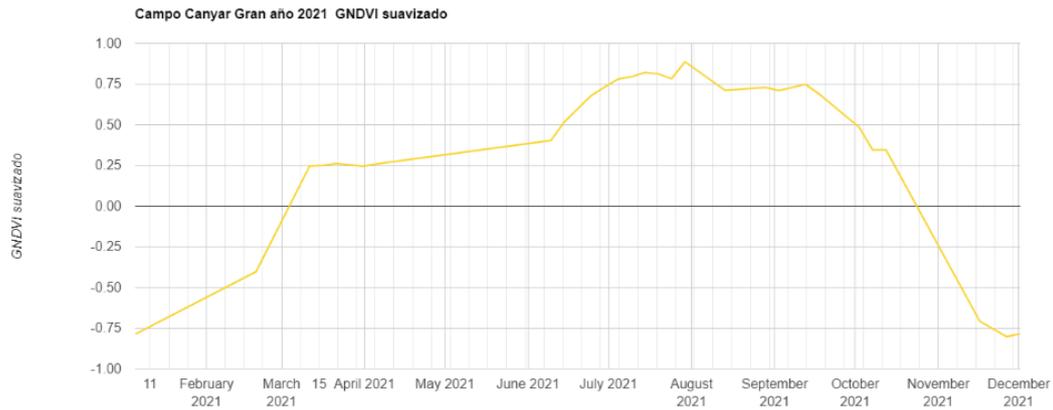


Figura 42 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con GEE para el año 2021. Fuente: Elaboración propia

Al efectuar el gráfico con el suavizado de Stavizky-Golay en TIMESAT, en lugar de unir los datos de las medias del índice de abril y junio con una recta, el suavizado aplicó un curvado a la línea representativa del índice. El pico del mes de agosto aparecía suavizado de una forma más coherente con la típica respuesta que muestran los índices de vegetación en los cultivos.

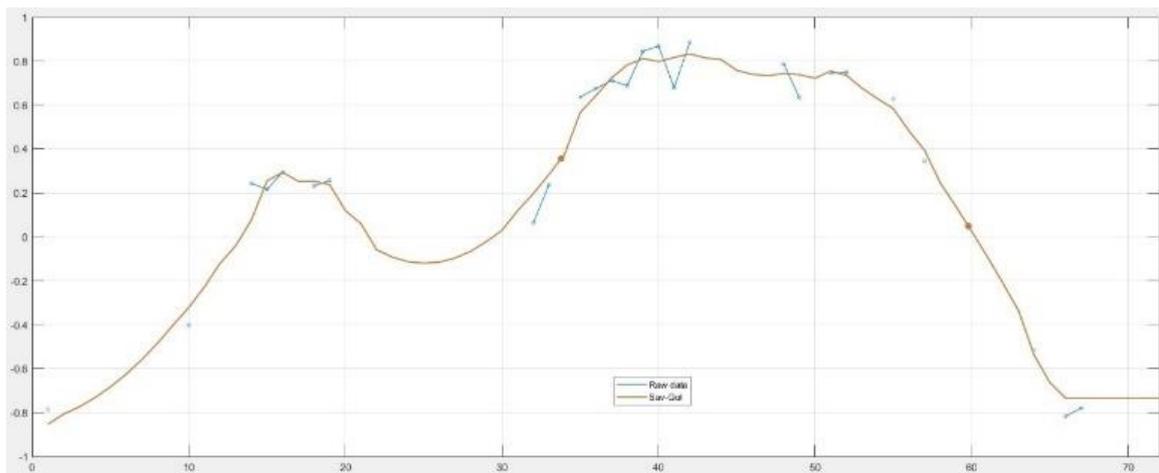


Figura 43 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con TIMESAT para el año 2021. Fuente: Elaboración propia

En el caso del año 2020 para el mismo campo también muestra unos suavizados distintos, lo cual podría dar lugar a diversas interpretaciones de los gráficos. Es decir, por un lado el gráfico de TIMESAT indicaba visualmente un aumento del GNDVI entre los meses de marzo y mayo, en la Figura 43 el filtro producía una forma sesgada negativamente a principios de año. Como se puede observar en los gráficos aparecen dos puntos correspondientes al inicio y el final de la estación del cultivo.

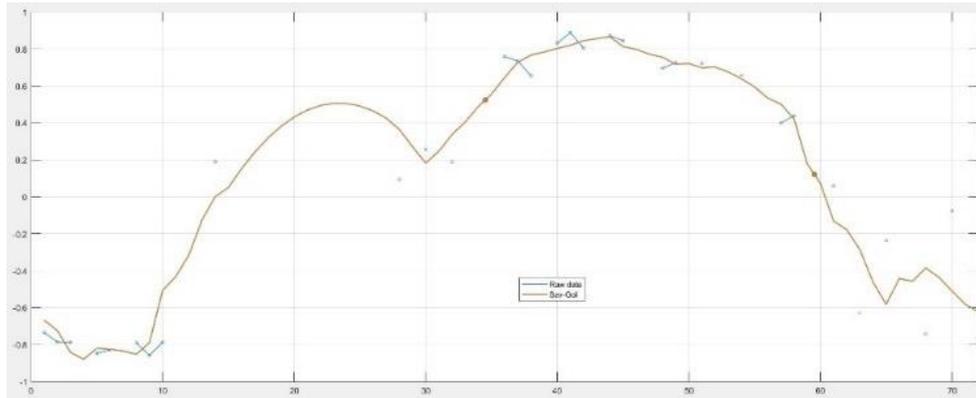


Figura 44 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con TIMESAT para el año 2020. Fuente: Elaboración propia

Mientras que el gráfico empleado en Google Earth Engine daría a entender que los valores comprendidos entre esos meses serían homogéneos, cosa bastante poco creíble.

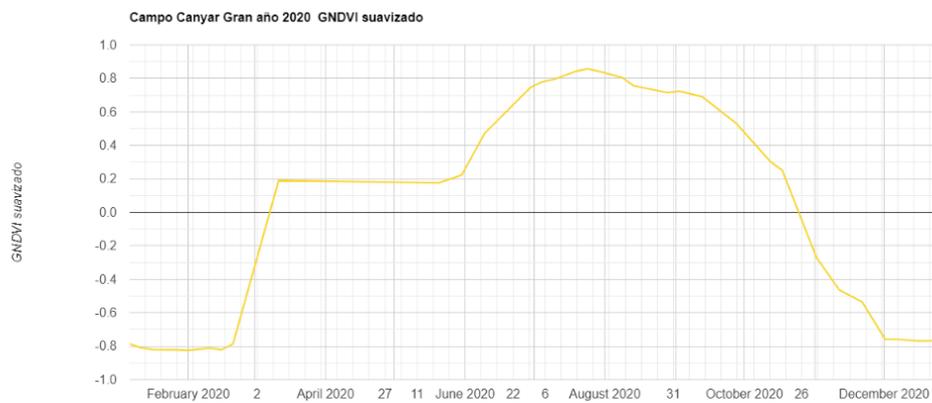


Figura 45 Gráfico temporal del índice GNDVI del campo de Canyar Gran suavizado con GEE para el año 2020. Fuente: Elaboración propia

Vistos ambos gráficos superpuestos :

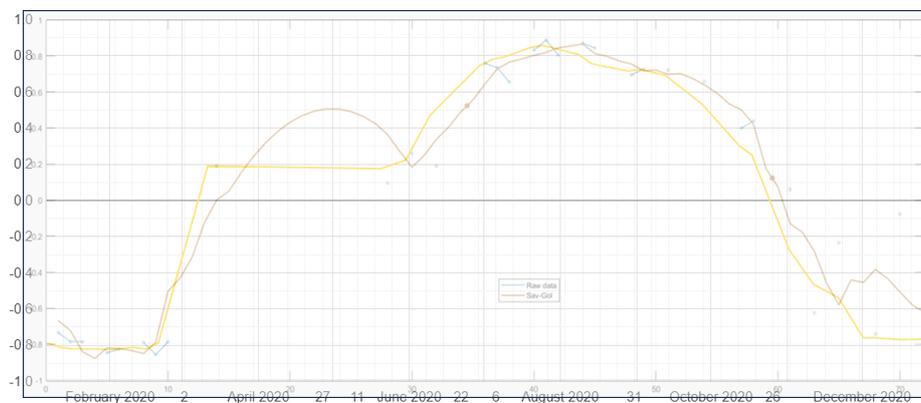


Figura 46 Visualización de los gráficos temporales del año 2020 suavizados con GEE (amarillo) y TIMESAT (marrón) para el campo de Canyar Gran. Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 los puntos azules se corresponden a los datos de los que procedían los valores. Para ambos gráficos se partió de dichos valores, pero los suavizados aplicados aportaron



distintos resultados. Aún así, ambos métodos dejaron puntos por los cuales la curva no se ajustó y mostraban diferencias interpretativas.

En 2020 para el segundo de los índices de vegetación que se suavizó, el NDVI, en campo de Catarrotxi se podía notar diferencias significativas en el curvado de la serie, en la figura se producía un filtrado de carácter rectilíneo para los meses en los que no había datos a principios de año.



Figura 47 Gráfico temporal del índice NDVI suavizado con GEE, campo de Catarrotxi año 2020. Fuente: elaboración propia

Por otro lado, el suavizado de Savitzky-Golay realizado con TIMESAT definía una curva que se ajustaba mejor al comportamiento del cultivo del arroz, lo cual hubiese permitido una mejor interpretación para dicho periodo. En el gráfico de la figura 48 destacaba la presencia de algunos picos en el suavizado, posiblemente debidos a ruido.

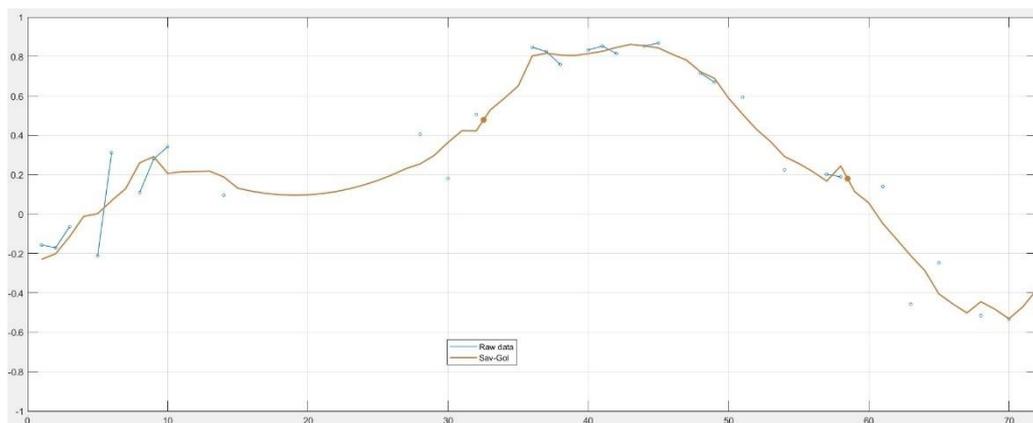


Figura 48 Gráfico temporal del índice NDVI suavizado con TIMESAT, campo de Catarrotxi año 2020. Fuente: elaboración propia

## Estimación de la estación de cultivo del arroz con TIMESAT

TIMESAT a partir de las medias obtenidas para los índices NDVI y GNDVI, permitió estimar el inicio de la estación, el final, su duración, el día medio y los valores de cada índice al inicio y final de la estación.

Se realizó la siguiente tabla para organizar la información obtenida y poder visualizarla adecuadamente:

	Inicio estación (día)	Fin estación (día)	Duración estación (días)	INDICE base de estación	Día mitad de estación	INDICE maximo	Amplitud del INDICE	INDICE al inicio estación	INDICE al final estación
NDVI año 2018 Campo de Catarrotxi	158	281	122	-0,079	203	0,859	0,939	0,487	0,293
NDVI año 2020 Campo de Catarrotxi	163	292	130	-0,203	213	0,861	1,064	0,478	0,180
NDVI año 2021 Campo de Catarrotxi	156	262	106	-0,108	210	0,812	0,920	0,392	0,313
NDVI año 2022 Campo de Catarrotxi	181	252	71	0,082	217	0,641	0,559	0,357	0,366
NDVI año 2020 Campo de Canyar Gran	174	292	118	-0,254	226	0,929	1,183	0,567	0,108
NDVI año 2021 Campo de Canyar Gran	167	292	125	-0,491	225	0,896	1,387	0,312	0,093
NDVI año 2022 Campo de Canyar Gran	190	299	109	-0,088	239	0,642	0,730	0,357	0,197
GNDVI año 2018 Campo de Catarrotxi	158	287	128	-0,083	207	0,682	0,765	0,403	0,195
GNDVI año 2020 Campo de Catarrotxi	163	303	140	-0,277	220	0,711	0,989	0,393	0,041
GNDVI año 2021 Campo de Catarrotxi	165	315	151	-0,040	215	0,649	0,689	0,366	0,244
GNDVI año 2022 Campo de Catarrotxi	180	310	130	-0,014	222	0,554	0,568	0,299	0,242
GNDVI año 2020 Campo de Canyar Gran	173	298	125	-0,220	231	0,866	1,087	0,524	0,122
GNDVI año 2021 Campo de Canyar Gran	169	299	130	-0,428	229	0,832	1,260	0,356	0,049
GNDVI año 2022 Campo de Canyar Gran	192	309	116	-0,141	242	0,630	0,771	0,358	0,131

Tabla 8 Fechas de estimación de la estación del cultivo a partir de los parámetros empleados. Fuente: Elaboración propia

Analizando el año 2021 para el cultivo de Catarrotxi, en el cual según los valores del índice NDVI se estimó que el inicio de la estación fue el día 156 (día 5 de junio) mientras que para el índice GNDVI se estimó que fue el día 165 (14 de junio). Ese año el arroz se sembró el 17 y el 18 de Mayo. Es decir, el índice NDVI empezó a mostrar cambios indicando un desarrollo del cultivo a partir de la primera quincena de crecimiento del cultivo, por otro lado para el índice GNDVI se estimó una detección de vegetación casi un mes después de la siembra. Para ese mismo año las fechas estimadas del fin de la estación para los índices NDVI y GNDVI en Catarrotxi eran de los días 262 (19 de Septiembre) y 315 (11 de Noviembre) respectivamente, la cosecha ese año se produjo el 13 de Septiembre. La diferencia puede deberse a que el índice GNDVI emplea la banda verde permitiendo estimar la cantidad de clorofila de la vegetación y en noviembre con la reducción de la energía solar incidente y la inundación de los arrozales con agua sobrante, provocase una reducción de la clorofila en torno al 11 de noviembre, reduciendo así su valor el índice GNDVI y dando a interpretar a TIMESAT la finalización de la estación en esa fecha.

Para el campo de Canyar Gran, que disponía de la variedad Jsendra en ese año, las estimaciones fueron del inicio de la estación fueron para las fechas del 16 de Junio para el índice NDVI y del 17 de junio para el índice GNDVI y las fechas de fin de la estación el 19 y el 26 de Octubre respectivamente. Ese año la siembra fue el 20 de Mayo y la cosecha los días 6 y 7 de Octubre.

Comparado con el año 2020 en el cual se tienen datos de ambas variedades de arroz y que no se considera un año anómalo, los índices estipulaban que el comienzo de la estación era aproximadamente un mes después de la siembra y parra el fin de la estación del cultivo, de nuevo el índice NDVI daba unos resultados más próximos a la fecha de cosecha mientras que el índice GNDVI sobre todo en el caso del campo de arroz Bomba daba una estimación más tardía de la fecha de fin de la estación de cultivo.

El índice GNDVI solía mostrar un inicio de la estación estimado posterior al NDVI, podría haberse debido a que dicho índice es más adecuado en etapas más avanzadas de cultivo por su saturación tardía en comparación con el índice NDVI (Auravant, Índices de vegetación y su interpretación [consulta 21 de mayo]).

El campo de Canyar Gran presentó una mayor equidad entre las estimaciones de la estación realizadas con los parámetros del índice GNDVI respecto al NDVI. Aprovechando el parecido de los periodos de duración, se intentó relacionar con los datos de producción sin llegar a ningún resultado coherente.

La estimación para el año 2022 tuvo fechas bastante tardías en comparación con los años anteriores, siendo un resultado acorde a los datos de dicho año. Por otro lado se presentó una amplitud del índice NDVI notablemente inferior al resto de los años. La amplitud estimada para el índice GNDVI no mostraba la misma tendencia, presentando una amplitud menor también en el año 2018 en el caso del campo de Catarrotxi.

El índice al final y al inicio de la estación estimados no mantenían relación directa con la producción.

## Representación zonal de los índices de vegetación y salinidad para analizar el estado de los cultivos

Para los tres índices de vegetación se analizó la media mensual de los meses de junio y julio para los dos polígonos catastrales en el periodo de los cuatro años de estudio, a los que se les aplico la misma rampa de colores para los valores comprendidos entre el 1 y el -1.

Los años 2020 y 2021 mostraban bastantes semejanzas a nivel visual, por otro lado el año 2019 en el mes de junio presentaba valores más bajos. Anteriormente se ha comentado que en el año 2019 el mes de junio fue muy caluroso y apenas hubo precipitaciones, condiciones que pueden haber influido en los resultados obtenidos. En el mes de junio del 2019 los valores adquiridos por los píxeles presentaban valores más comunes.

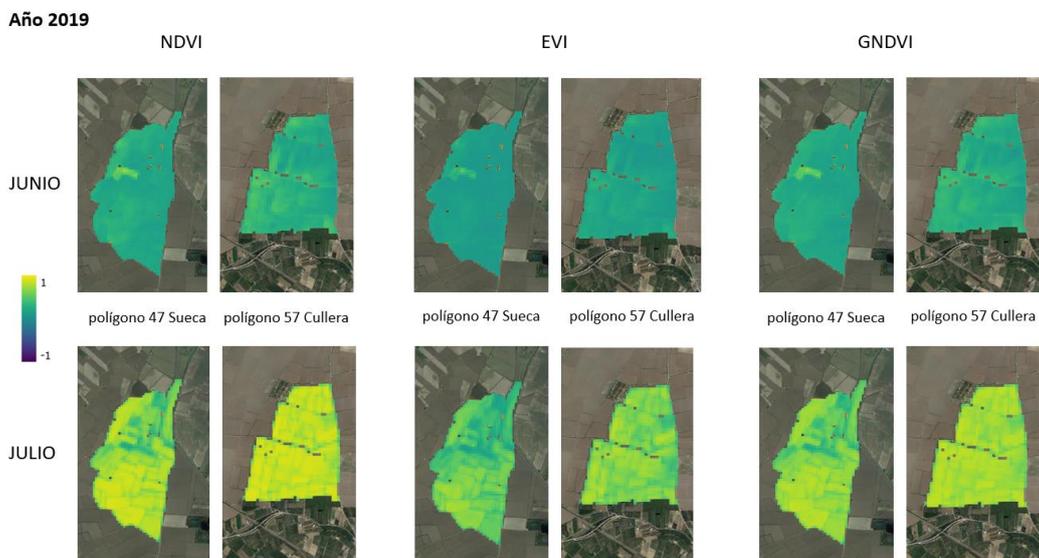


Figura 49 Mapeo de los índices de vegetación de los polígonos catastrales de estudio, año 2019. Fuente: Elaboración propia

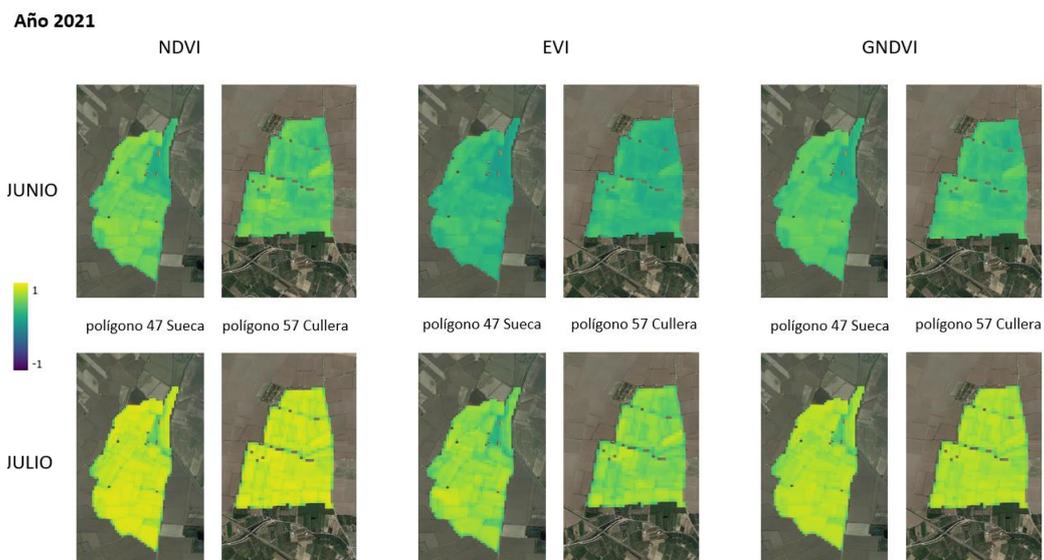


Figura 50 Mapeo de los índices de vegetación de los polígonos catastrales de estudio, año 2021. Fuente: Elaboración propia

Se podía observar una mayor porción de píxeles amarillos en junio en los años de 2020 y 2021, sin embargo en julio, ya adquirieron tonalidades más parecidas los píxeles representados.

Al representar el año anómalo, 2022, las diferencias entre las medias de los píxeles resultaban obvias, así como el retraso del periodo de cultivo.

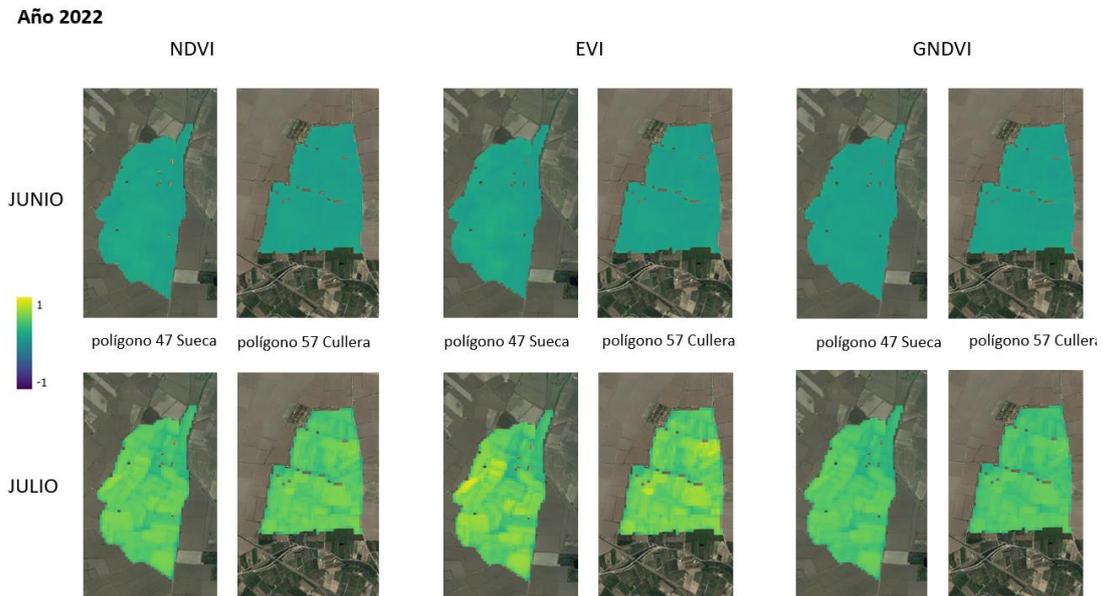


Figura 51 Mapeo de los índices de vegetación de los polígonos catastrales de estudio, año 2020. Fuente: Elaboración propia

Analizando los índices de vegetación, mostraban tendencias similares entre sí, pero en algunas zonas concretas adquirían valores más elevados.

Por ejemplo, analizando el año 2019, en los tres índices de vegetación para el caso del polígono 47 de Sueca, había unas parcelas que adquirían valores próximos al 1 en junio, mientras que el resto del polígono aún presentaba valores más bajos. Posiblemente se deba a que esos cultivos en dicho año se plantaron antes o con una variedad de arroz diferente cuyo desarrollo fue más rápido y en junio ya se detectaba.

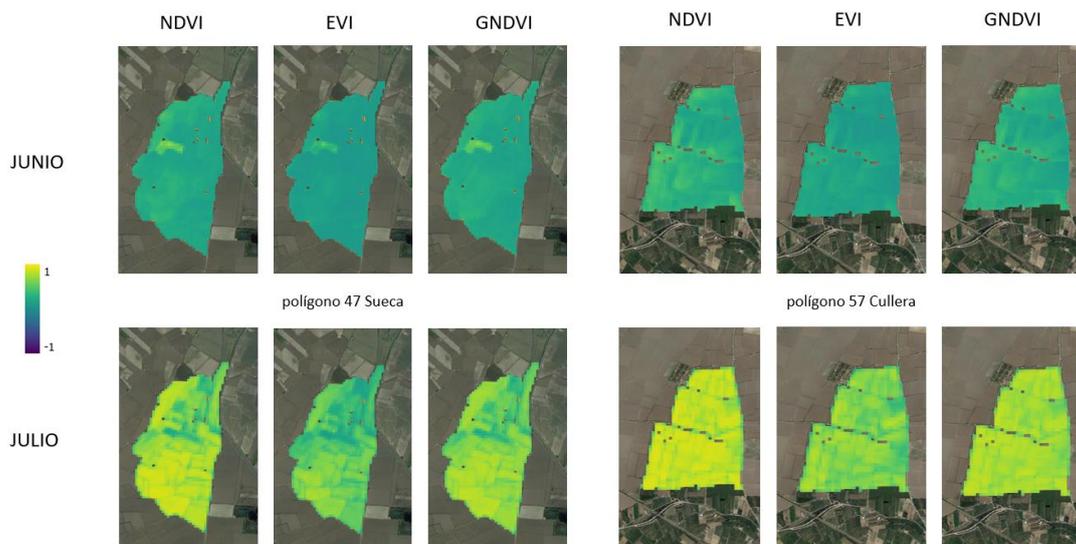


Figura 52 Mapeo y comparación de los índices de vegetación para cada uno de los polígonos catastrales de estudio, año 2019. Fuente: Elaboración propia

En julio por ejemplo el índice NDVI para el año 2019 mostraba valores más elevados para los cultivos, mientras que el EVI por el contrario adquirió varias tonalidades de la rampa de color elegida.

La evolución temporal presentada para el índice NDVI, el cuál en los análisis anteriores su interpretación se ajustaba más a la realidad, fue la siguiente para ambos polígonos catastrales:

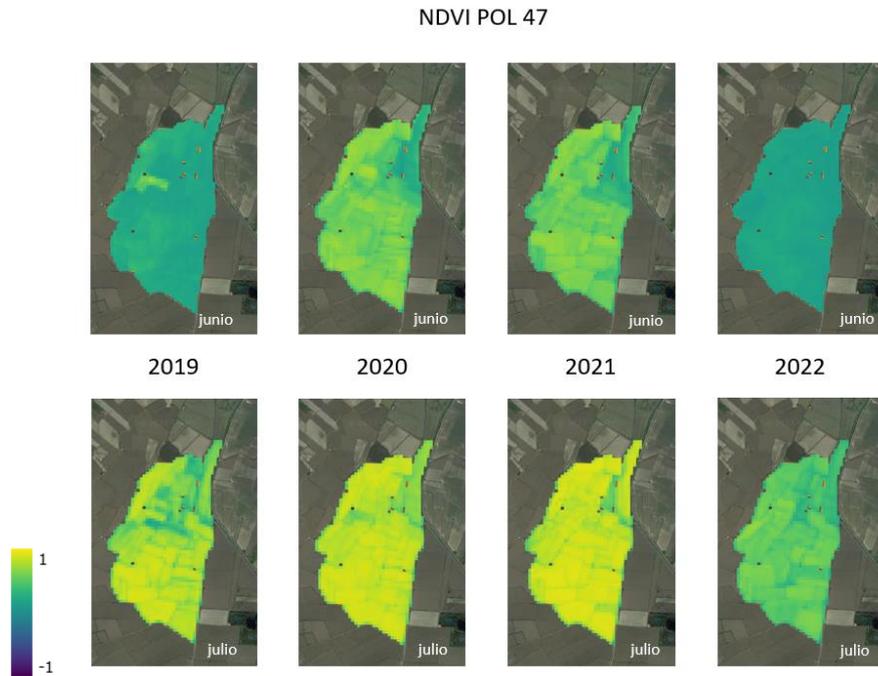


Figura 53 Evolución temporal del índice NDVI aplicado en el polígono 47 de Sueca para los meses de junio y julio. Fuente: Elaboración propia.

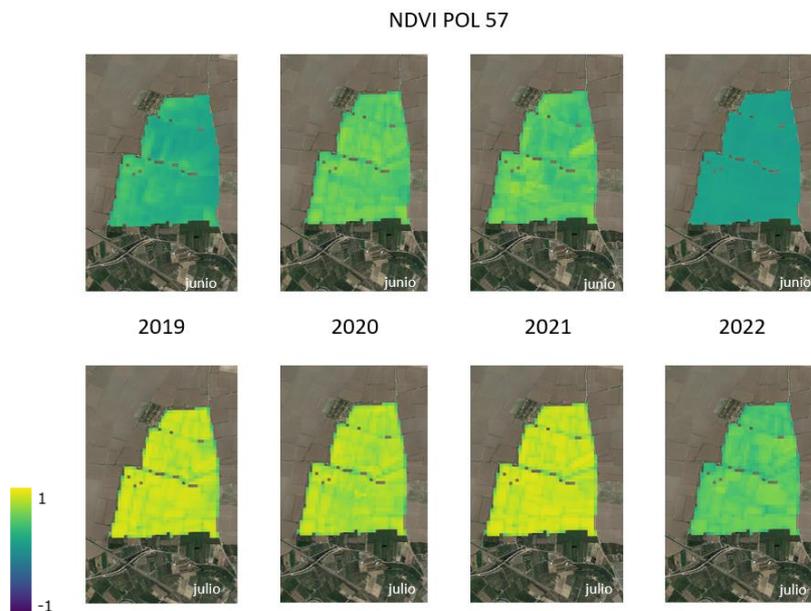


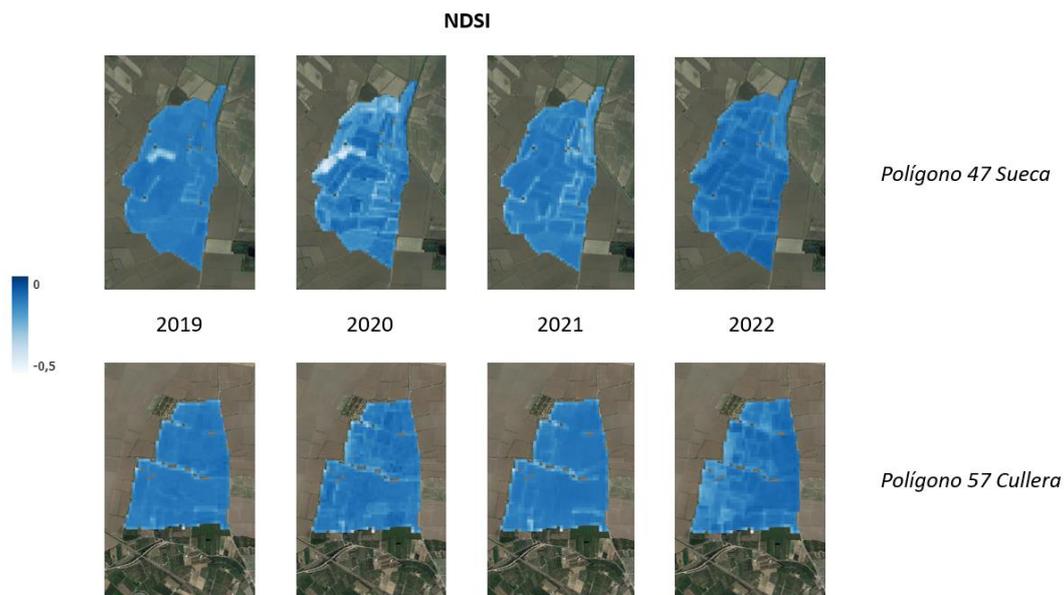
Figura 54 Evolución temporal del índice NDVI aplicado en el polígono 57 de Cullera para los meses de junio y julio. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que en el año 2022 el arroz tuvo que sembrarse en fechas más tardías a lo normal, los valores del 2022 para el mes de junio representan adecuadamente los datos, al igual que el mes de julio, en el cual en ambos polígonos se presentaron valores más bajos de lo normal.

En cuanto a los índices de salinidad, se decidió realizar un mapeado del filtro NDSI puesto que fue el que mayor variabilidad presentó y también se probó el ASTER\_SI, dado que en algunos años mientras el índice NDSI implicaba una mayor salinidad el índice ASTER\_SI daba a entender que había otra. El índice SAVI se descartó dado que no se consideró que su interpretación fuese tan clara.

Se representaron las medias obtenidas para los meses de marzo y abril (en conjunto), meses en los que la cobertura vegetal no interferiría en los valores de los índices de salinidad y en los que los campos en teoría se encontrarían vacíos.

Para la representación visual del índice NDSI, se seleccionó una rampa de colores que abarcaba desde 0 hasta -0,5. Esta elección se basó en los valores observados durante los meses de marzo y abril, donde la media del índice no superaba el valor de 0,25. Al utilizar esta escala de colores, fue posible resaltar de manera más efectiva las variaciones en la salinidad en las superficies analizadas.



*Figura 55 Evolución temporal del índice NDSI aplicado a los polígonos catastrales para los meses de marzo y abril en los años de estudio. Fuente: Elaboración propia.*

Analizado de forma rápida se vio que el polígono 47 de Sueca mostraba una mayor variabilidad de salinidad para las fechas escogidas, mientras que en el polígono 57 de Cullera la media en los meses de marzo y abril era parecida en los cuatro años, mostrando una menor salinidad en el año 2022. Habría que tener en cuenta que por ejemplo en los gráficos temporales realizados con Google Earth Engine el año 2022 contaba solo con una imagen en marzo y otra en febrero.

Para la rampa de colores del índice ASTER\_SI, se estableció el rango de valores de 0 a 0,2.

A diferencia del índice de salinidad NDSI, el índice ASTER\_SI representaba una mayor salinidad en el año 2021 en lugar de en el año 2022. En el resto de años la distribución era más complicada

de interpretar. También cabría destacar que en el año 2019 las parcelas de la zona derecha del polígono de Sueca mostraban una menor salinidad en comparación con el resto del polígono, en el índice NDSI dicha zona también se presentaba de forma distinguida respecto al resto de píxeles representados.

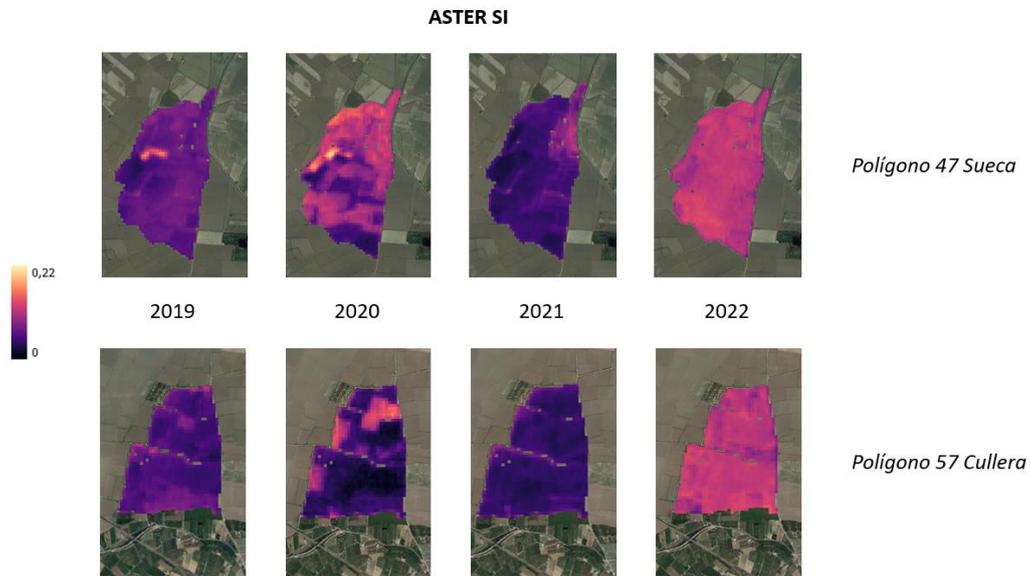


Figura 56 Evolución temporal del índice ASTER\_SI aplicado a los polígonos catastrales para los meses de marzo y abril en los años de estudio. Fuente: Elaboración propia.



## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos iniciales del trabajo, fue posible la realización del análisis de la salinidad en los campos de arroz a través de índices de salinidad y su relación con el estado vegetativo de los cultivos mediante los índices de vegetación. Aún así, no se pudieron relacionar los índices de salinidad empleados con la salinidad de los suelos según la página de Agrosal («Agrosal - La Salinidad en la Agricultura» [sin fecha]), posiblemente debido a que los índices captaron la salinidad del suelo superficial que puede diferir con la salinidad de capas más profundas o por otros factores que no se tuvieron en cuenta. Para comprobar dichos resultados sería necesario disponer de datos de campo de los niveles de salinidad del suelo. También debería considerarse trabajar con unas superficies de menor tamaño que permitan analizar en mayor detalle la variabilidad de los índices y sus tendencias.

Por otro lado, se comprobó que las variedades de arroz no presentan una gran diferencia en la respuesta espectral que pueden aportar en los índices de vegetación y por lo contrario mostraron una gran diferencia de producción entre sí. Se aplicó una fórmula para estimar la producción a partir del valor máximo obtenido en el NDVI, que en el caso de la variedad JSendra se aproximó a los datos de producción.

La estimación de los períodos estacionales de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran fue bastante acertada para el comienzo del desarrollo de la vegetación, pero con una interpretación confusa para su fin, siendo el índice de vegetación NDVI el que aportó resultados más fieles a la realidad. Una mayor cantidad de datos hubiese permitido intentar establecer una correlación entre los índices de vegetación de una variedad concreta de arroz y su producción. Para futuros trabajos debería ampliarse el rango temporal de estudio, así como las pequeñas zonas, posibilitando una mayor cantidad de datos.

En cuanto al monitoreo de los índices, se consiguieron visualizar adecuadamente y se vieron diferencias significativas en las superficies de los polígonos, deduciendo así también que realizar un análisis sobre superficies tan grandes es poco adecuado si se hubiese querido hacer con un mayor detalle. Además, en ocasiones los límites de las parcelas se diferenciaban bastante, pudiendo haber introducido valores para los análisis no correspondientes a la vegetación estudiada. Una forma de evitarlo sería delimitar las parcelas a nivel individual y no conjunta.

El procesamiento con Google Earth Engine permitió no almacenar un gran volumen de datos y trabajar de forma efectiva, aun así, para zonas muy extensas no podría ser aplicado por superar un límite de píxeles a procesar. Podría intentarse aplicar un menor porcentaje de nubosidad en el filtrado de nubes con el fin de evitar la falta de información en meses cuya interpretación puede ser decisiva para el análisis.

Respecto al suavizado de los gráficos, tanto el método empleado en Google Earth Engine como en TIMESAT, ajustaron la serie de interés proporcionándole una forma acorde a la respuesta espectral de índices de vegetación y salinidad. Las ventajas que tenía el método de la ventana promedio aplicado en Google Earth Engine era la reducción del ruido en gran medida, pero en ocasiones la formación de un ajuste de carácter lineal no era fiel a los datos. Por otro lado con el

ajuste de Savitzky-Golay se consiguió una estimación bastante próxima en el caso del índice NDVI del periodo de cultivo.

Aun así, la conclusión más destacable de este trabajo es el efecto del cambio climático en los cultivos de arroz, las consecuencias fueron notables en el año de 2022. En mayo de 2022, se registraron intensas precipitaciones que generaron retrasos en las fechas de siembra de los cultivos de arroz. Además, durante ese verano, se experimentaron altas temperaturas. Estos factores tuvieron un impacto negativo en los cultivos y se observaron diferencias significativas en los resultados obtenidos en comparación con años anteriores.

En el año 2022 a diferencia de años anteriores, no se mostró una reducción de la salinidad del suelo tras el cultivo del arroz, aunque se produjesen fuertes lluvias en el mes de mayo, el efecto de un drenaje continuo del agua realizaría una reducción de las sales del suelo más efectiva.

## PRESUPUESTO

Dado que los datos empleados se obtuvieron de forma gratuita, no suponen ningún coste a la hora de definir los presupuestos, al igual que los recursos empleados cuyo coste fue nulo.

Para la obtención del salario se tuvo en cuenta la tabla salarial y plus convenio para el año 2022 (Ministerio de Trabajo y Economía Social 2023):

Nivel salarial	Tabla salarial art. 33		Plus convenio según art. 38 convenio	Total anual
	Mes x 14	Anual		
1	1.765,51	24.717,14	2.396,68	27.113,82
2	1.331,06	18.634,84	2.396,68	21.031,52
3	1.283,52	17.969,28	2.396,68	20.365,96
4	1.176,74	16.474,36	2.396,68	18.871,04
5	1.051,43	14.720,02	2.396,68	17.116,70
6	905,87	12.682,18	2.396,68	15.078,86
7	875,48	12.256,72	2.396,68	14.653,40
8	864,28	12.099,92	2.396,68	14.496,60
9	857,97	12.011,58	2.396,68	14.408,26

Tabla 9 Tabla salarial y plus convenio para el año 2022- Fuente: BOE - Resolución del 27 de febrero de 2023

Estimando de forma aproximada las horas empleadas el presupuesto calculado presentaba los siguientes costes:

	mensual (art 33)	anual (art 33)	plus convenio(art 38)	total anual
<b>Ingeniero en geomática y topografía (2. Diplomados y titulados 1 ciclo universitario, jefe superior)</b>	1.331,06 €	18.634,84 €	2.396,68 €	21.031,52 €

seg social	coste anual	coste mensual	coste diario	coste hora
8.412,61 €	29.444,13 €	2.676,74 €	133,84 €	16,73 €

Tabla 10 Cálculo de costes. Fuente: elaboración propia

Donde el valor obtenido para la seguridad social supuso el 40 % del sueldo anual bruto y el coste mensual se calculó con el supuesto de – meses y el diario con – días.

A continuación, se calculó los costes de las actividades, estimando de forma aproximada las horas empleadas, el presupuesto calculado presentaba los siguientes:

ACTIVIDADES	DURACIÓN (h)	RRHH	COSTE RRHH	MEDIOS MATERIALES	COSTES MATRIALES	DIETAS
Estudio de los índices de vegetación y salinidad	3	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	50,19 €		€ -	NO
Estudio del empleo de Google Earth Engine	35	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	585,55 €	Google Earth Engine	€ -	NO
Estudio del cultivo del arroz y factores infuyentes	5	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	83,65 €		€ -	NO
Selección de zonas de estudio y descarga de datos previos	3	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	50,19 €	QGIS, CNIG, AEMET	€ -	NO
Procesamiento y filtrado de datos	60	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	1.003,80 €	Google Earth Engine	€ -	NO
Análisis de datos	7	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	117,11 €	Google Earth Engine y TIMESAT	€ -	NO
Producción de cartografiado	5	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	83,65 €	Google Earth Engine y QGIS	€ -	NO
Análisis final	2	1 Ingeniero en Geomática y Topografía	33,46 €		€ -	NO
<b>TOTAL 5 días</b>						<b>2.007,60 €</b>

Tabla 11 Actividades con sus costes, duración y recursos necesarios. Fuente: realización propia

Añadiendo también los costes indirectos:

COSTES INDIRECTOS	
Amortización equipos informáticos (5 años)	600,00 €
Agua y luz	800,00 €
Ordenador gráfico	500,00 €
Alquiler oficina	6.000,00 €
Papelería	1.200,00 €
Vehículo de alquiler	6.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>14.620,00 €</b>
<b>mensual</b>	<b>1.218,33 €</b>

Tabla 12 Costes indirectos, presupuestos. Fuente: Elaboración propia

Y finalmente, aplicando los cálculos del IRPF, el IVA y el Beneficio Industrial, el presupuesto general para llevar a cabo un proyecto así sería de cuatro mil trescientos veinte y dos coma setenta y cinco euros (4322,75€).

TOTAL ACTIVIDADES	GASTOS INDIRECTOS	BASE IMPONIBLE	IRPF (-7%)	IVA (21%)	BENEFICIO INDUSTRIAL (20%)	TOTAL
2.007,60 €	1.218,33 €	3.225,93 €	225,82 €	677,45 €	645,19 €	<b>4.322,75 €</b>

Tabla 13 Presupuesto general, total. Fuente: Elaboración propia

## BIBLIOGRAFIA

9. PERMEABILIDAD DEL SUELO. [en línea]. [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en:  
<[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s09.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm)>.
- Agrosal - La Salinidad en la Agricultura. [en línea]. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<<http://agrosal.ivia.es/>>.
- ALONSO, D., 2020. Los 6 Índices de Vegetación para completar el NDVI. *MappingGIS* [en línea]. [consulta 20 de mayo 2023]. Disponible en:  
<<https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>>.
- Bomba – Copsemar. [en línea], 2016. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<<https://www.copsemar.com/portfolio/bomba/>>.
- Calculo de índices de vegetación, NDVI, SAVI, EVI, NDWI con Landsat 8 de los Distritos Misiones e Itapuá, cercanas al Embalse de Yacyretá, Paraguay. [en línea]. [consulta: 3 julio 2023]. Disponible en:  
<[https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/1006360\\_fc9da28eddc24165b57f73d7c1ed291b.html](https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/1006360_fc9da28eddc24165b57f73d7c1ed291b.html)>  
.
- Chlorophyll Index: What Is CI And How To Use It In Farming. [en línea], 2022. [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en:  
<<https://eos.com/make-an-analysis/chlorophyll-index/>>.
- Cirro- Definition & Meaning. *Dictionary.com* [en línea], 2023. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<<https://www.dictionary.com/browse/cirro->>.
- Collection 1 Level-2A. *Sentinel Online* [en línea]. [consulta 14 de marzo 2023]. Disponible en:  
<<https://copernicus.eu/sentinel-data-access/sentinel-products/sentinel-2-data-products/collection-1-level-2a>>.
- Cultivo de arroz en la Albufera de Valencia. En: Page Version ID: 151254836, *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea], 2023. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cultivo\\_de\\_arroz\\_en\\_la\\_Albufera\\_de\\_Valencia&oldid=151254836](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Cultivo_de_arroz_en_la_Albufera_de_Valencia&oldid=151254836)>.

Cultivo del arroz en la Albufera de Valencia | 🌿 Arrozales de Valencia. *PASEOS EN BARCA POR LA ALBUFERA «EL ROIG»* [en línea], 2016. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:

<<https://www.paseoalbufera.com/cultivo-del-arroz-en-la-albufera-de-valencia>>.

DELGADO, J.L.R., PÉREZ, V.A. y DUATO, E.S., 1998. Los suelos de la Devesa de la Albufera. ,

Descubre QGIS. [en línea]. [consulta 18 de abril 2023]. Disponible en:

<<https://qgis.org/es/site/about/index.html>>.

Efectos de la Salinidad y la Sodicidad en los cultivos. [en línea]. [consulta: 27 junio 2023]. Disponible en:

<<http://www.agrosal.ivia.es/efectos.html>>.

EKLUNDH, L. y JÖNSSON, P., 2015. TIMESAT: A Software Package for Time-Series Processing and Assessment of Vegetation Dynamics. . S.l.: s.n., pp. 141-158. ISBN 978-3-319-15966-9.

ERMIDA, S.L., SOARES, P., MANTAS, V., GÖTTSCHE, F.-M. y TRIGO, I.F., 2020. Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote Sensing*, vol. 12, no. 9, ISSN 2072-4292. DOI 10.3390/rs12091471.

ESTÉVEZ, R., 2019. Cómo descargar y visualizar cartografía de Catastro en QGIS. *geomapik* [en línea]. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en: <<https://www.geomapik.com/uncategorized/como-descargar-informacion-catastral-parcelas-edificios-qgis/>>.

Catastro inmobiliario. [en línea]. [consulta 5 de abril 2023]. Disponible en:

<<http://www.agrosal.ivia.es/factores.html>>.

GAZABA, F.J., [consulta 18 de abril 2023]. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica con QGIS. ,

GEOGRÁFICA, O.A.C.N. de I., . Centro de Descargas del CNIG (IGN). *Centro de Descargas del CNIG* [en línea]. [consulta: 25 junio 2023]. Disponible en:

<<http://centrodedescargas.cnig.es>>.

GERARDO, R. y DE LIMA, I.P., 2022. Sentinel-2 Satellite Imagery-Based Assessment of Soil Salinity in Irrigated Rice Fields in Portugal. *Agriculture*, vol. 12, no. 9, ISSN 2077-0472. DOI 10.3390/agriculture12091490.

GIL MESEGUER, E. y GÓMEZ ESPÍN, J.M., 2006. *Modelos de sostenibilidad en el uso del agua en la región de Murcia*. 1. ed. Murcia: Universidad de Murcia, Servicio de Publ. Usos del agua en el territorio, 3, ISBN 978-84-8371-649-6.

Historia Del Cultivo\_ – Arroz de Valencia Denominación de Origen. [en línea], [sin fecha]. [consulta 23 de marzo 2023]. Disponible en:  
<<https://www.arrozdevalencia.org/historia-del-cultivo-del-arroz/>>.

AURAVANT. Índices de vegetación y su interpretación. *Auravant* [en línea]. [consulta 21 de mayo 2023]. Disponible en:

<<https://www.auravant.com/blog/agricultura-de-precision/indices-de-vegetacion-y-como-interpretarlos/>>.

JÖNSSON, P. y EKLUNDH, L., 2004. TIMESAT - A program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, vol. 30, DOI 10.1016/j.cageo.2004.05.006.

JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission. [en línea]. [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en:  
[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/).

JSendra – Copsemar. [en línea], 2021. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<https://www.copsemar.com/portfolio/jsendra/>.

La Albufera. *Love Valencia* [en línea], 2019. [consulta 5 abril 2023]. Disponible en:  
<https://www.lovevalencia.com/la-albufera.html>.

La Permeabilidad del Suelo para el Cultivo de Frutales | Intagri S.C. [en línea]. [consulta 7 de abril 2023]. Disponible en:  
<<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-permeabilidad-del-suelo-para-el-cultivo-de-frutales>>.

La Red Natura 2000 - PN L'Albufera - Generalitat Valenciana. *PN L'Albufera* [en línea]. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<<https://parquesnaturales.gva.es/ca/web/pn-l-albufera/la-red-natura-2000>>.

LAVERDAD.ES. Glosario. Murcia y el agua. Historia de una pasión. [en línea]. [consulta 21 de abril 2023]. Disponible en:  
<[http://www.asambleamurcia.es/sites/external/murcia\\_agua/glosario.htm](http://www.asambleamurcia.es/sites/external/murcia_agua/glosario.htm)>.

LÓPEZ, B.R., [sin fecha]. ¿Qué es Google Earth Engine? *Cursos GIS | TYC GIS Formación* [en línea]. [consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:  
<<https://www.cursosgis.com/que-es-google-earth-engine/>>.

METEOROLOGÍA, A.E. de, [sin fecha]. Resúmenes climatológicos - Página 1: Comunitat Valenciana - C. Autónomas - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. [en línea]. [consulta: 27 junio 2023]. Disponible en:  
<[https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes?w=1&k=val](https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes?w=1&k=val)>.

MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL, 2023. *Resolución de 27 de febrero de 2023, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el XX Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería; oficinas de estudios técnicos; inspección, supervisión y control técnico y de calidad* [en

línea]. 10 marzo 2023. S.l.: s.n. [consulta: 30 junio 2023]. Resolución.  
Disponible en:

<[>](https://www.boe.es/eli/es/res/2023/02/27/(6)).

MONTERO, P., DOMINGO, C., PLA, E., TOMÀS, N. y CATALÀ, M.M., 2017.  
MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS EN EL CULTIVO DEL ARROZ. ,

MSI Instrument – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online. *Sentinel Online*  
[en línea]. [consulta 15 de marzo 2023]. Disponible en:  
<[>](https://copernicus.eu/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument).

NDVI: Fórmula Y Uso Del Índice De Vegetacion Na Agricultura. [en línea], 2021.  
[consulta: 29 junio 2023]. Disponible en:

<<https://eos.com/es/make-an-analysis/ndvi/>>.

NDVI: Preguntas Frecuentes Sobre Este Índice De Vegetación. [en línea], 2020.  
[consulta: 30 junio 2023]. Disponible en:

<<https://eos.com/es/blog/ndvi-preguntas-frecuentes/>>.

OKAMOTO, H., DUCREUX, L.J.M., ALLWOOD, J.W., HEDLEY, P.E., WRIGHT,  
A., GURURAJAN, V., TERRY, M.J. y TAYLOR, M.A., 2020. Light  
Regulation of Chlorophyll and Glycoalkaloid Biosynthesis During Tuber  
Greening of Potato *S. tuberosum*. *Frontiers in Plant Science* [en línea], vol. 11,  
[consulta: 28 junio 2023]. ISSN 1664-462X. Disponible en:  
<[>](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00753).

Parque Natural de la Albufera de Valencia - PN L'Albufera - Generalitat Valenciana.  
*PN L'Albufera* [en línea]. [consulta 24 de marzo 2023]. Disponible en:  
<[>](https://parquesnaturales.gva.es/ca/web/pn-l-albufera).

PÉREZ-DOMÍNGUEZ, G., PEÑUELAS-RUBIO, O., NÚÑEZ-VÁZQUEZ, M.,  
MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, L., LÓPEZ-PADRÓN, I., REYES-GUERRERO, Y.  
y ARGENTEL-MARTÍNEZ, L., 2021. EL ESTRÉS SALINO EN EL  
CULTIVO DEL ARROZ (*Oryza sativa* L). PAPEL DE LOS  
OLIGOGALACTURÓNIDOS COMO PROTECTORES DE LAS PLANTAS.  
*Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 44, no. 3, ISSN 0187-7380. DOI  
10.35196/rfm.2021.3.283.

Permeabilidad - ICV - Generalitat Valenciana. *ICV* [en línea]. [consulta 7 de abril  
2023]. Disponible en:

<[>](https://icv.gva.es/ca/permeabilitat-de-sols-i-recarrega-d-aquifers).

Portal de la DGC: Catastro inmobiliario - Usos y utilidades. [en línea]. [25 de marzo  
2023]. Disponible en:

<[>](http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/usos_utilidades.asp).

PLIEGO DE CONDICIONES DE LA DOP ARROZ DE VALENCIA/ARRÒS DE VALÈNCIA. GVA



Disponible en:

<<https://agroambient.gva.es/documents/163228750/163232596/180214+PC+Arroz.pdf/c665ead0-f5ea-4712-9df5-1bb36507a614>>.

PSPV, F.S.-S. de M.A., Agua y Agricultura del, 2006. La Albufera, ¿veinte años de espacio protegido? *Levante-EMV* [en línea]. [consulta: 26 junio 2023].

Disponible en:

<<https://www.levante-emv.com/opinion/2006/07/14/albufera-veinte-anos-espacio-protegido-13695885.html>>.

Quantum Gis (QGIS): Un Sistema de Información Geográfica basado en Software Libre - Kudos Ltda. [en línea]. [consulta 25 de marzo 2023]. Disponible en:

<<https://gkudos.com/blog/2011/02/15/quantum-gis-qgis-un-sistema-de-informacion-geografica-basado-en-software-libre/>>.

¿Qué es una órbita polar sol-sincrónica? *Tiempo.com | Meteored* [en línea], 2017.

[consulta: 26 junio 2023]. Disponible en:

<<https://www.tiempo.com/ram/341762/una-orbita-polar-sol-sincronica/>>.

Salinidad. [en línea], [sin fecha]. [consulta: 25 junio 2023]. Disponible en:

<<https://www.quimica.es/enciclopedia/Salinidad.html>>.

Salinidad Del Suelo: Causas, Señales Y Efectos De La Salinización. [en línea], 2023.

[consulta: 25 junio 2023]. Disponible en:

<<https://eos.com/es/blog/salinidad-del-suelo/>>.

SCHAFER, R., 2011. What Is a Savitzky-Golay Filter? [Lecture Notes]. *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 28, no. 4, ISSN 1053-5888. DOI 10.1109/MSP.2011.941097.

Sentinel-2 - Satellite Description - Sentinel Online. *Sentinel Online* [en línea]. [consulta 14 de marzo 2023]. Disponible en:

<<https://copernicus.eu/missions/sentinel-2/satellite-description>>.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, E., 2014. Universitat Politècnica de València. *Ingeniería del agua*, vol. 18, no. 1, ISSN 1886-4996, 1134-2196. DOI 10.4995/ia.2014.3293.

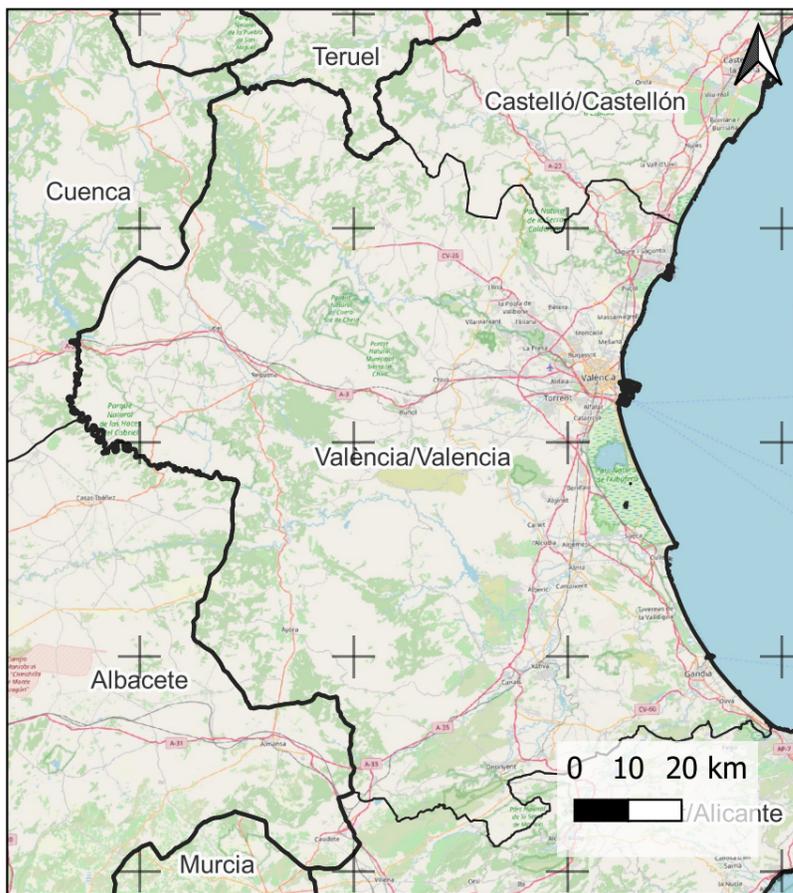
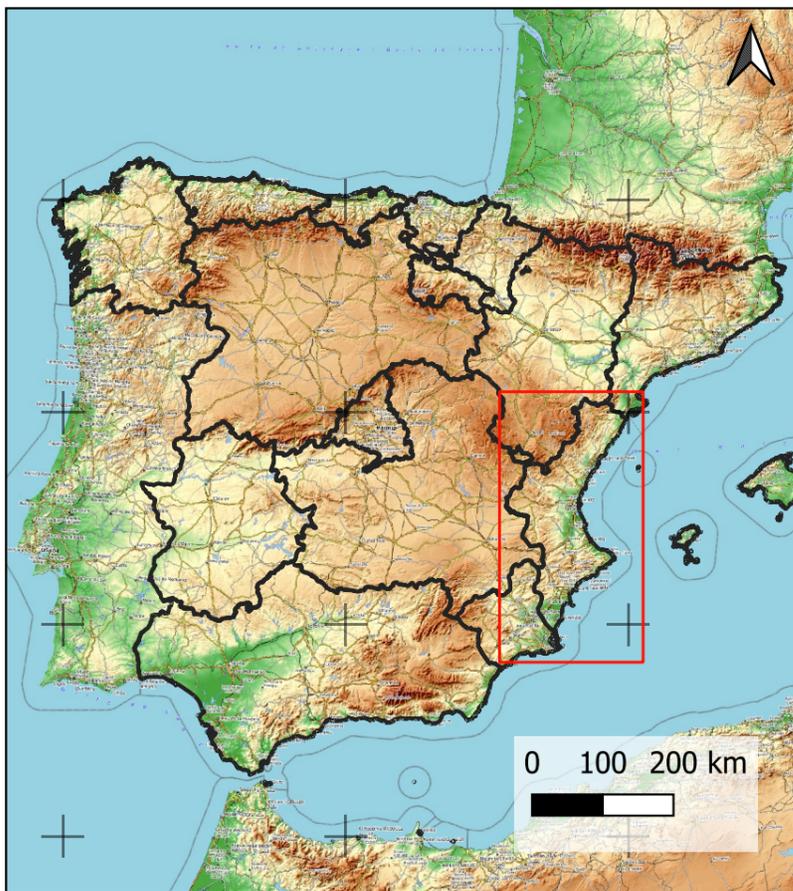
User Guides - Sentinel-2 MSI - Level-2 Processing - Sentinel Online. *Sentinel Online* [en línea]. [consulta 14 de marzo 2023]. Disponible en:

<<https://copernicus.eu/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2>>.

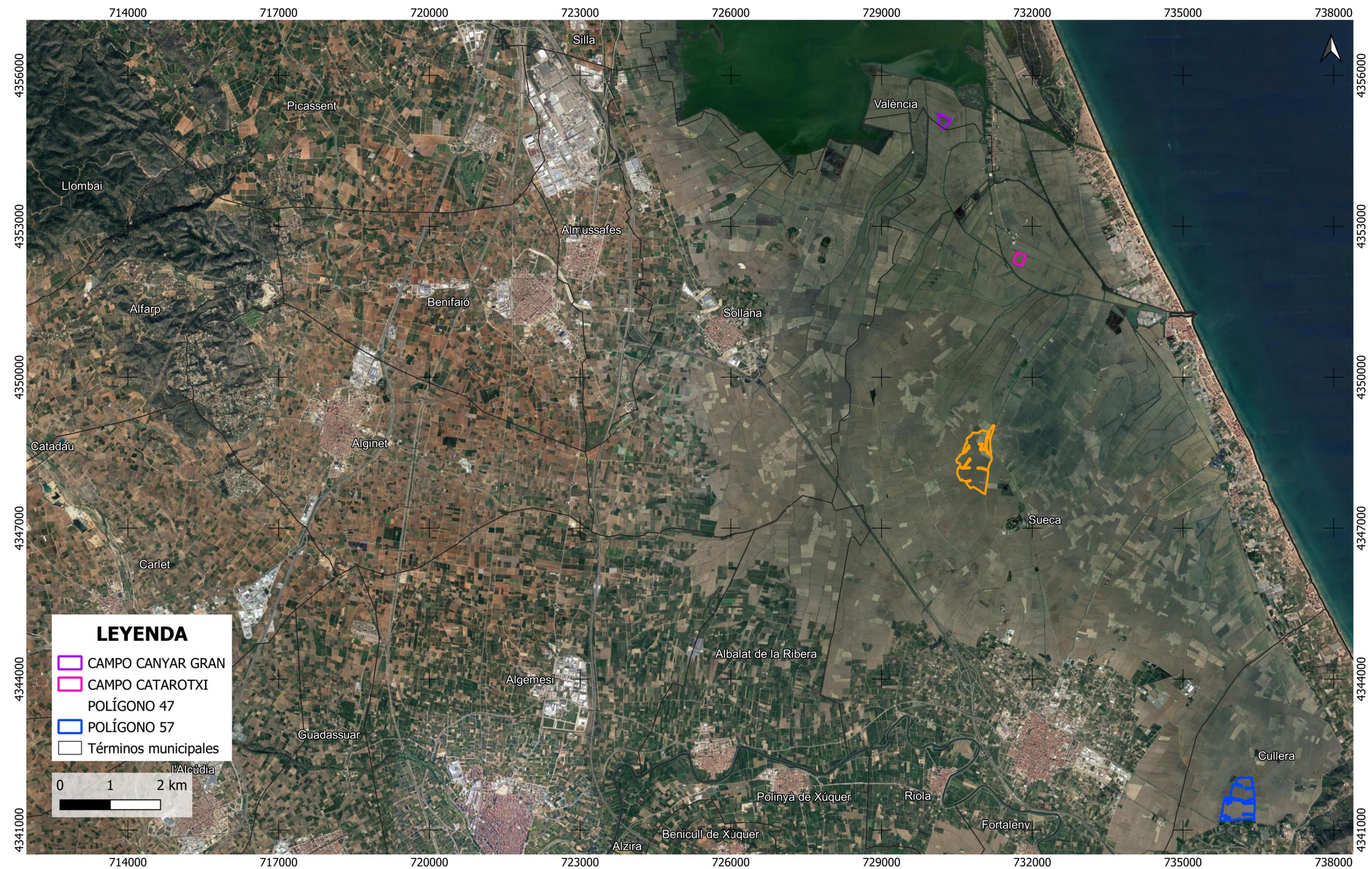
VALDÉS, E.C., GONZÁLEZ, M.C., VENTURA, E. y RODRÍGUEZ, A.T., 2018. Efecto de la salinidad en estadios iniciales del desarrollo de tres cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, vol. 39, no. 3,

Welcome to the TIMESAT pages! [en línea]. [consulta: 28 junio 2023]. Disponible en:

<<https://web.nateko.lu.se/timesat/timesat.asp>>.



 <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>	Autor	Proyecto		Escala	nº de mapa
	Sistema de referencia	Mapa			
	Andrea Cristina Bona	Trabajo Final de Grado: Análisis de índices de vegetación y salinidad en los cultivos de arroz de l'Albufera de València mediante el procesamiento en la nube con Google Earth Engine.		VARIAS	<b>1</b>
	COORDENADAS UTM ZONA 30 N EPSG:25830 / ETRS89	MAPA DE SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	Situación PROVINCIA DE VALENCIA	15/06/2023	

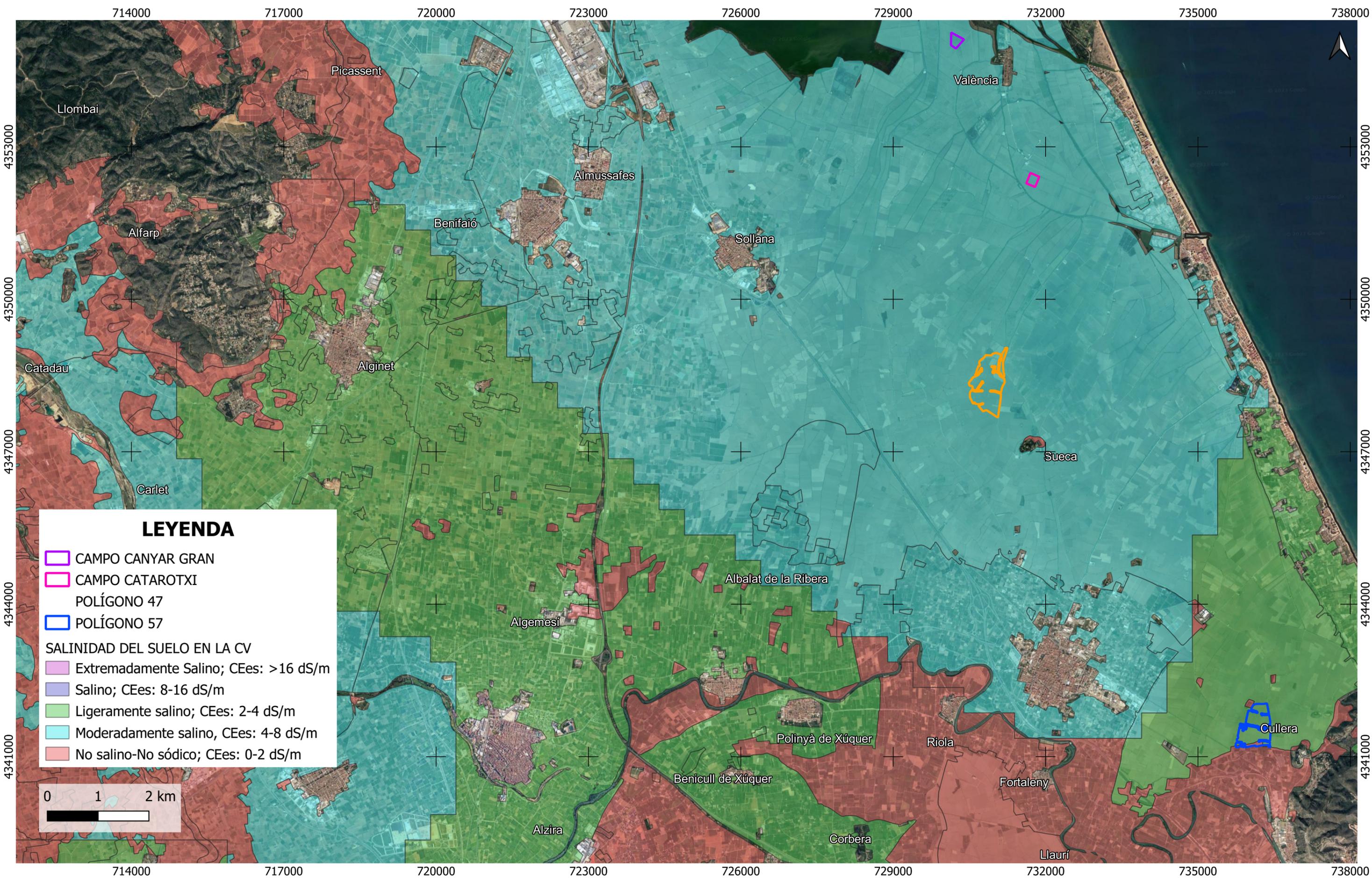


**LEYENDA**

- CAMPO CANYAR GRAN
- CAMPO CATAROTXI
- POLÍGONO 47
- POLÍGONO 57
- Términos municipales



 <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>	<p>Autor <b>Andrea Cristina Bona</b></p>	<p>Proyecto Trabajo Final de Grado: Análisis de índices de vegetación y salinidad en los cultivos de arroz de l'Albufera de València mediante el procesamiento en la nube con Google Earth Engine.</p>		<p>Escala 1 : 65000</p>	<p>nº de mapa <b>2</b></p>
	<p>Sistema de referencia COORDENADAS UTM ZONA 30 N EPSG:25830 / ETRS89</p>	<p>Mapa MAPA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO DEFINIDAS</p>	<p>Situación PROVINCIA DE VALENCIA</p>	<p>Fecha 03/06/2023</p>	



### LEYENDA

- CAMPO CANYAR GRAN
  - CAMPO CATAROTXI
  - POLÍGONO 47
  - POLÍGONO 57
- SALINIDAD DEL SUELO EN LA CV
- Extremadamente Salino; CEes: >16 dS/m
  - Salino; CEes: 8-16 dS/m
  - Ligeramente salino; CEes: 2-4 dS/m
  - Moderadamente salino, CEes: 4-8 dS/m
  - No salino-No sódico; CEes: 0-2 dS/m



 <p>ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA</p>	Autor <p style="text-align: center;">Andrea Cristina Bona</p>	Proyecto Trabajo Final de Grado: Análisis de índices de vegetación y salinidad en los cultivos de arroz de l'Albufera de València mediante el procesamiento en la nube con Google Earth Engine.	Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía, UPV	Escala <p style="text-align: center;">1 : 65000</p>	nº de mapa  <b>3</b>
	Sistema de referencia COORDENADAS UTM ZONA 30 N EPSG:25830 / ETRS89	Mapa MAPA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO Y LA SALINIDAD DEL SUELO		Situación PROVINCIA DE VALENCIA	

730000

730500

731000

731500

732000



4349000

4349000

4348500

4348500

4348000

4348000

4347500

4347500

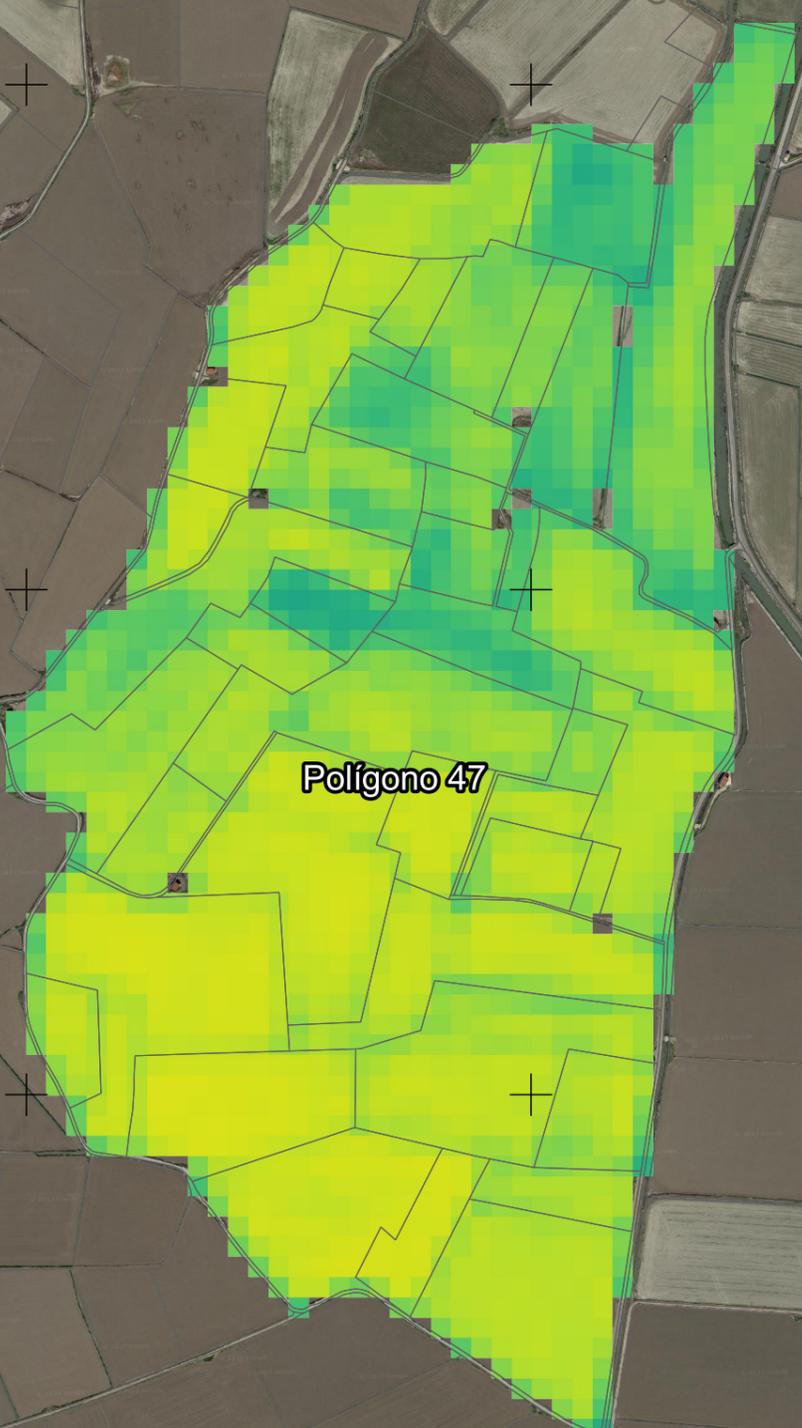
730000

730500

731000

731500

732000



Polígono 47

### LEYENDA

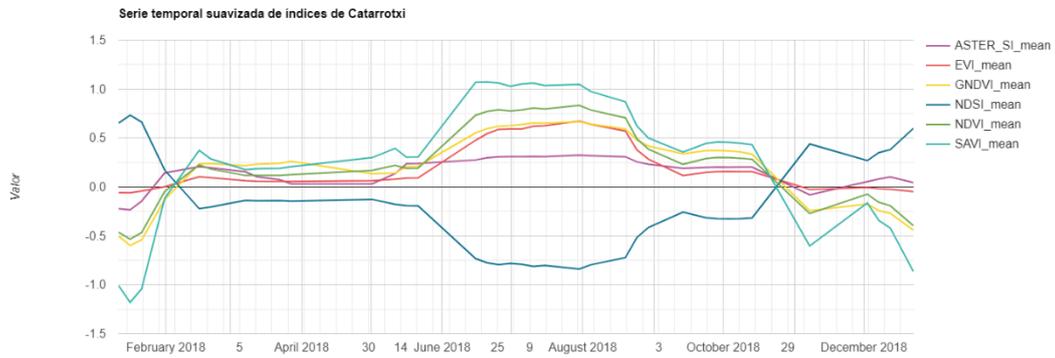
- Parcelario del término municipal de Sueca
- valor NDVI
- 1
- 1



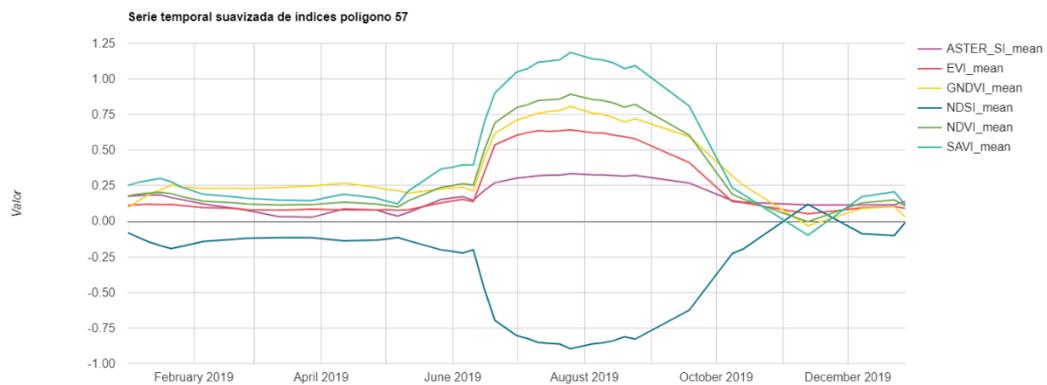
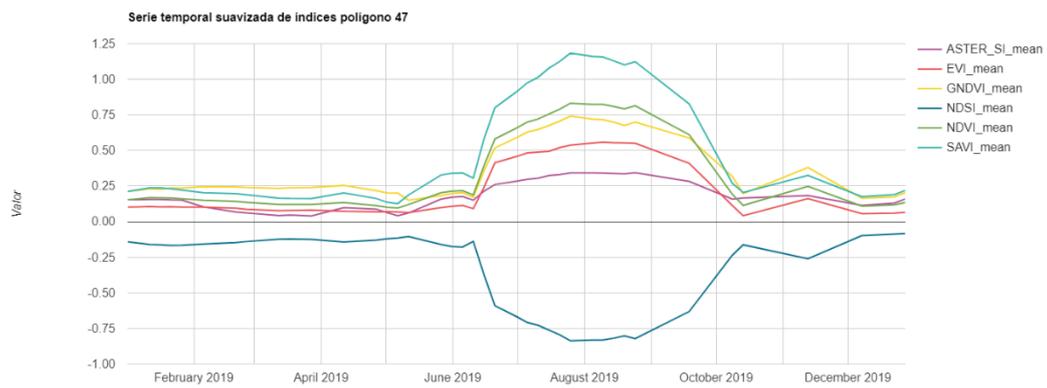
<p>Autor</p> <p>Andrea Cristina Bona</p>	<p>Proyecto</p> <p>Trabajo Final de Grado: Análisis de índices de vegetación y salinidad en los cultivos de arroz de l'Albufera de València mediante el procesamiento en la nube con Google Earth Engine.</p>		<p>Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía, UPV</p>	<p>Escala</p> <p>1 : 7000</p>	<p>nº de mapa</p> <p><b>4</b></p>
	<p>Sistema de referencia</p> <p>COORDENADAS UTM ZONA 30 N</p> <p>EPSG:25830 / ETRS89</p>	<p>Mapa</p> <p>ÍNDICE NDVI DEL POLÍGONO 47</p> <p>JULIO 2019</p>		<p>Situación</p> <p>PROVINCIA DE VALENCIA, término municipal de Sueca</p>	

### Gráficos temporales anuales de los índices de vegetación y salinidad (en conjunto)

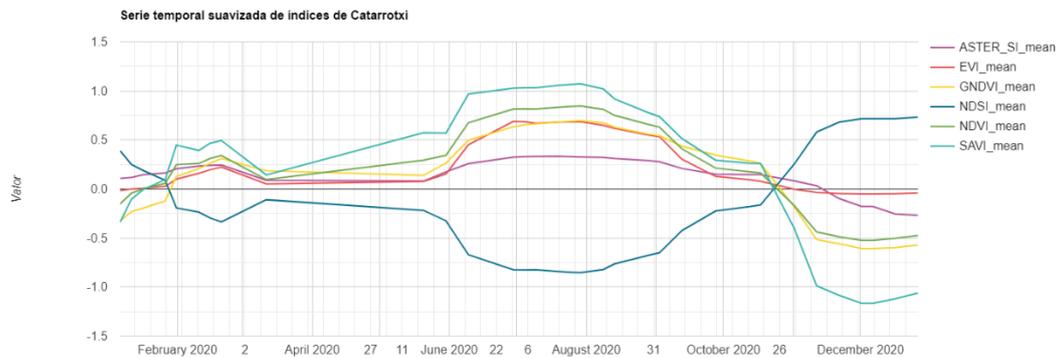
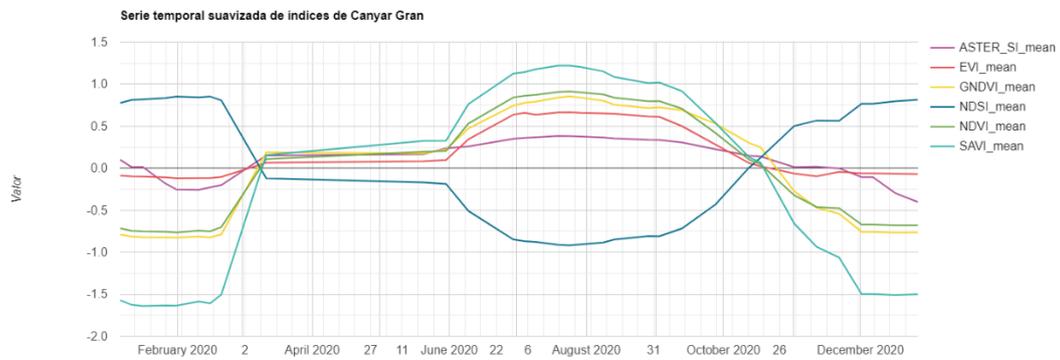
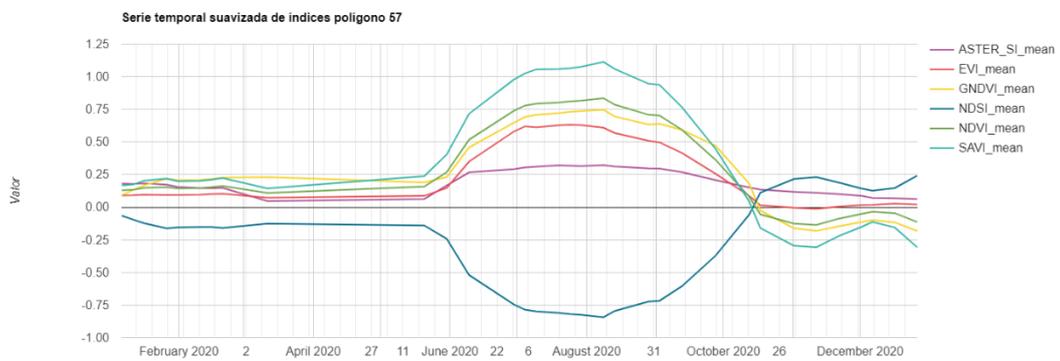
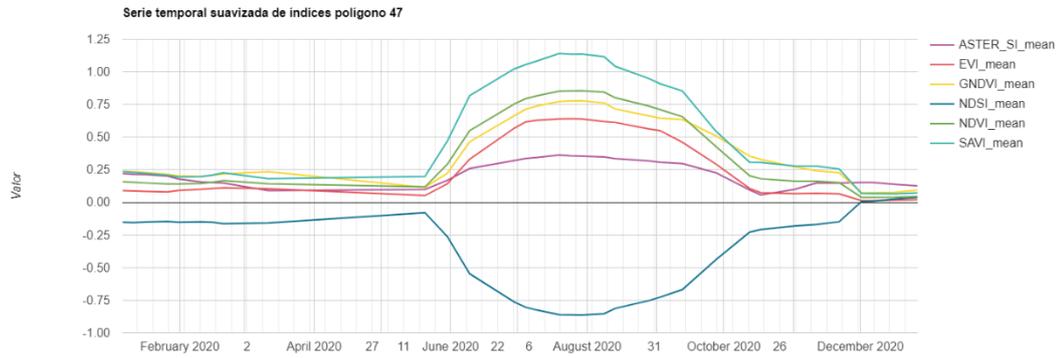
#### Gráficos temporales anuales, año 2018



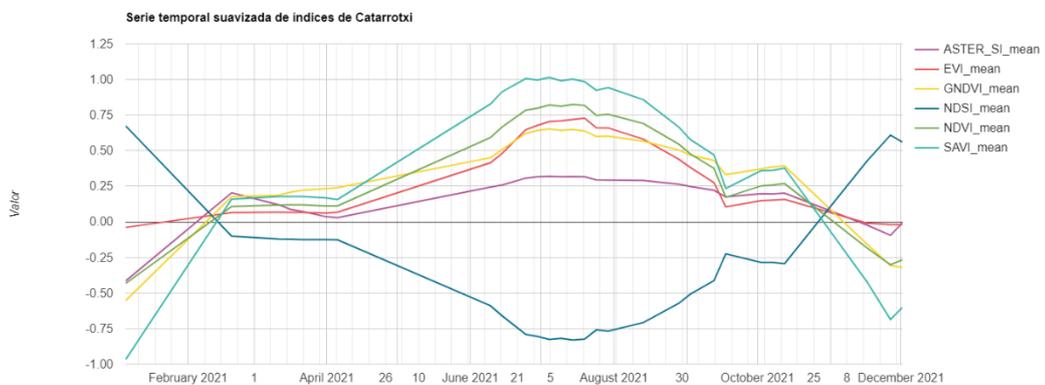
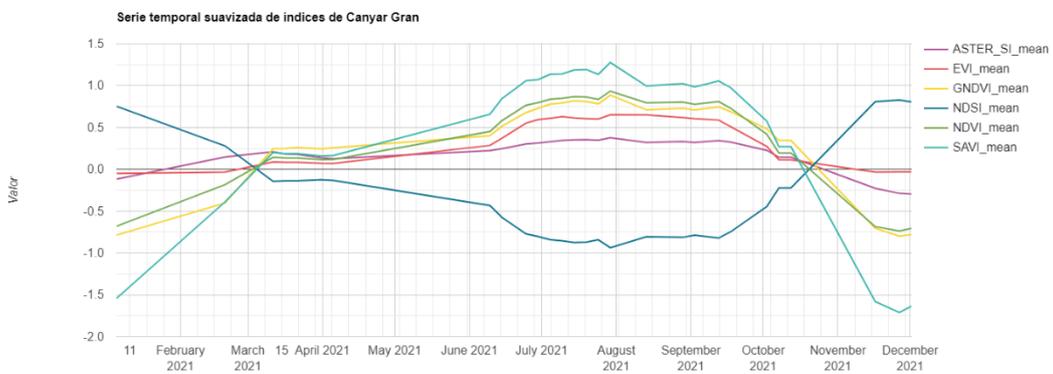
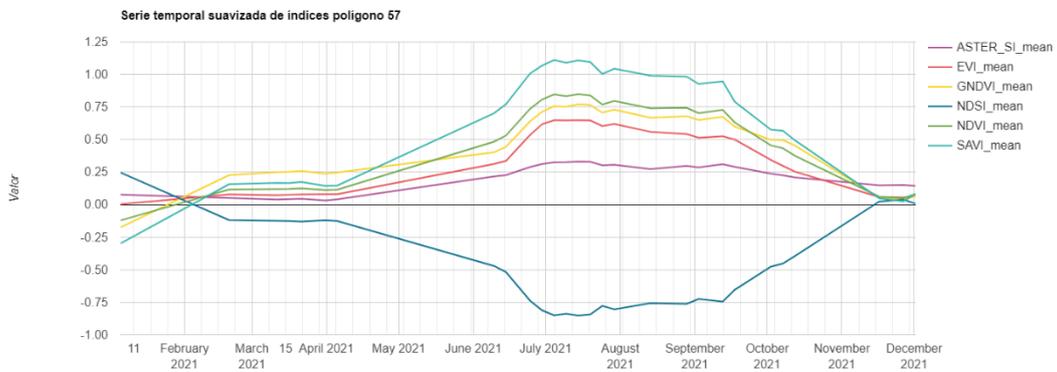
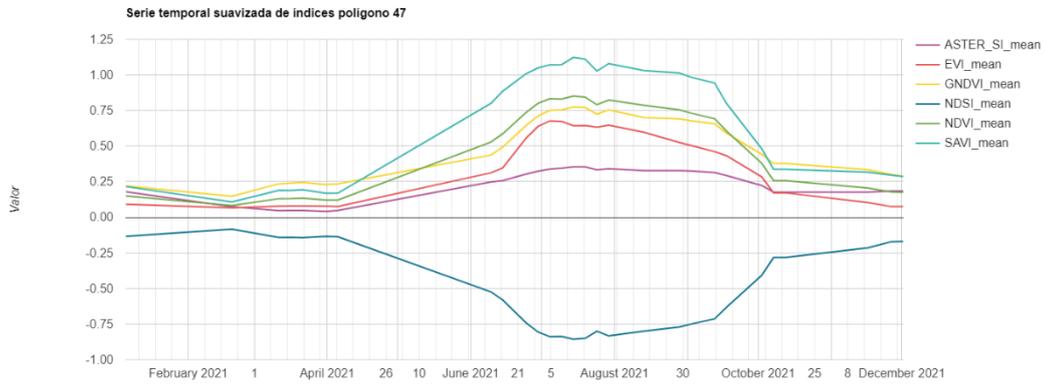
#### Gráficos temporales anuales, año 2019



## Gráficos temporales anuales, año 2020

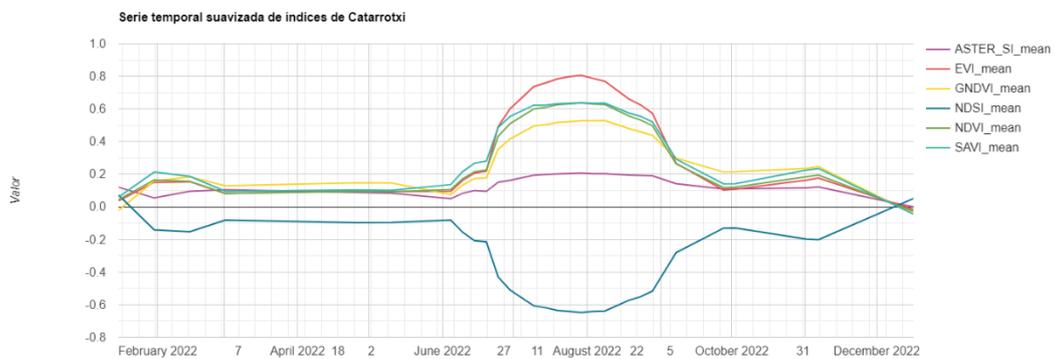
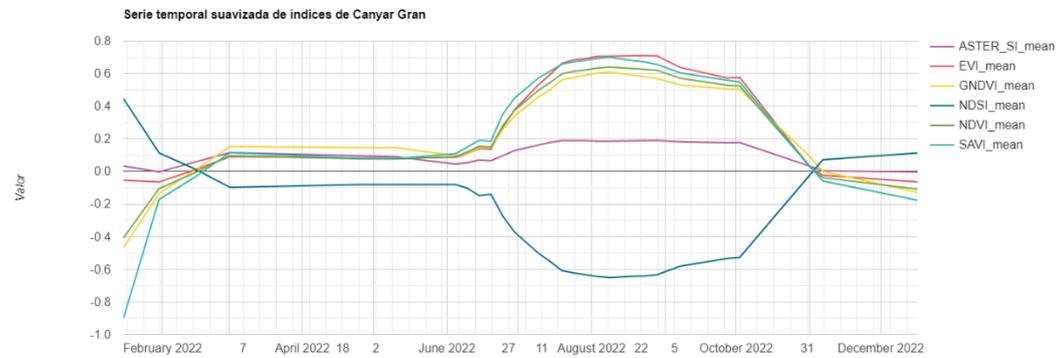
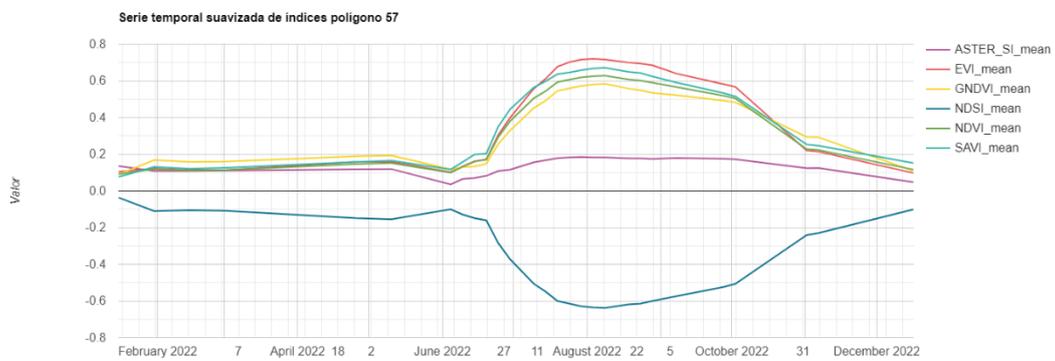
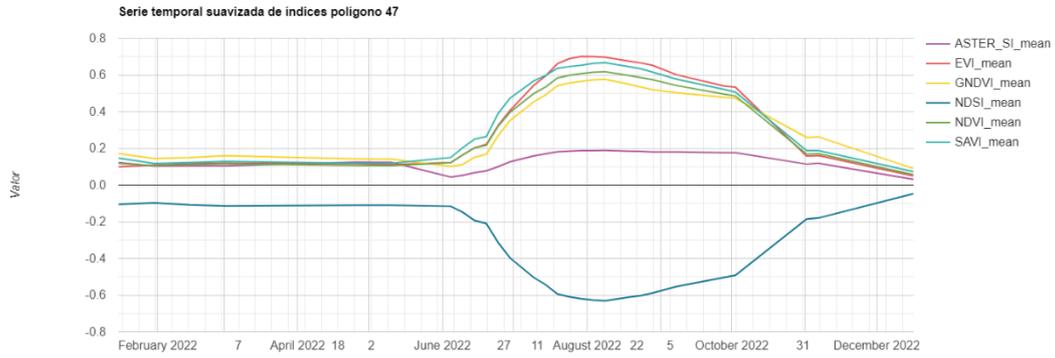


## Gráficos temporales anuales, año 2021



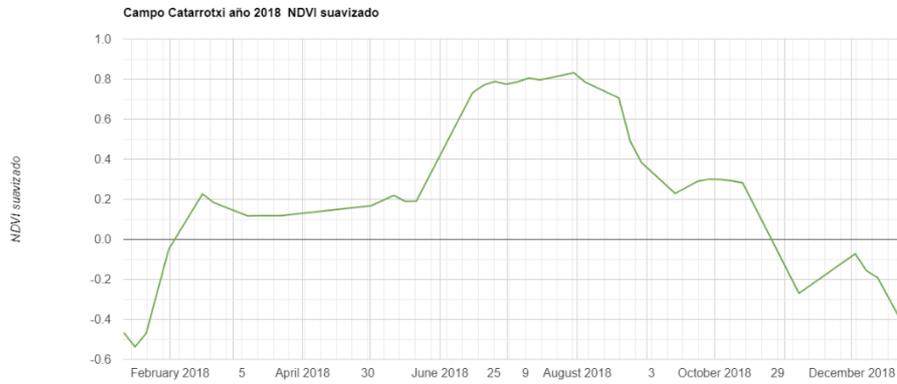


## Gráficos temporales anuales, año 2022

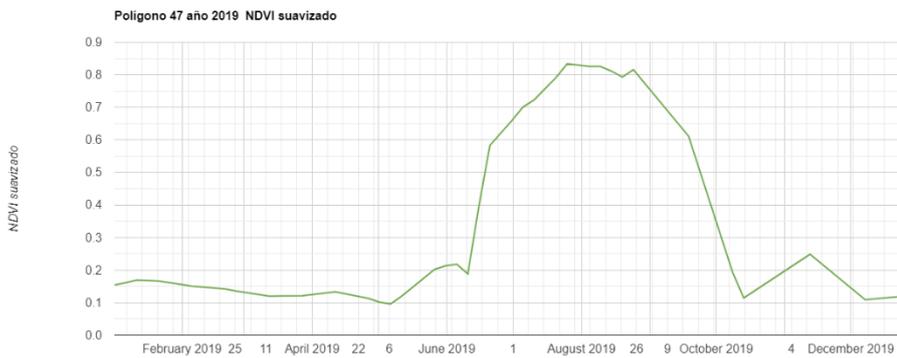


**Gráficos temporales anuales de los índices de vegetación y salinidad (individualmente y de los índices de vegetación y salinidad por separado)**

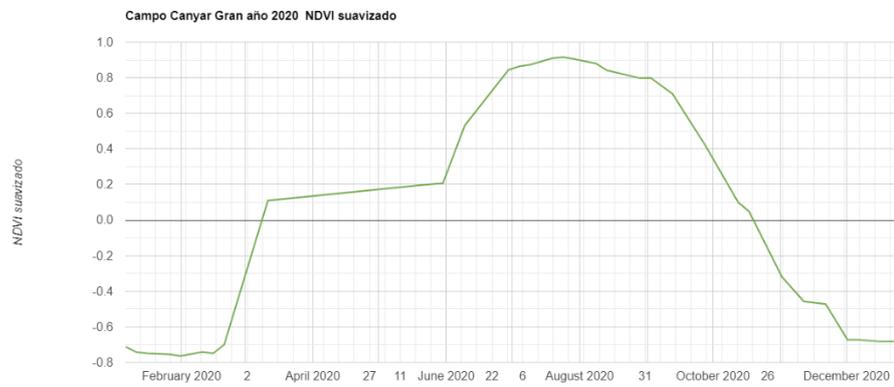
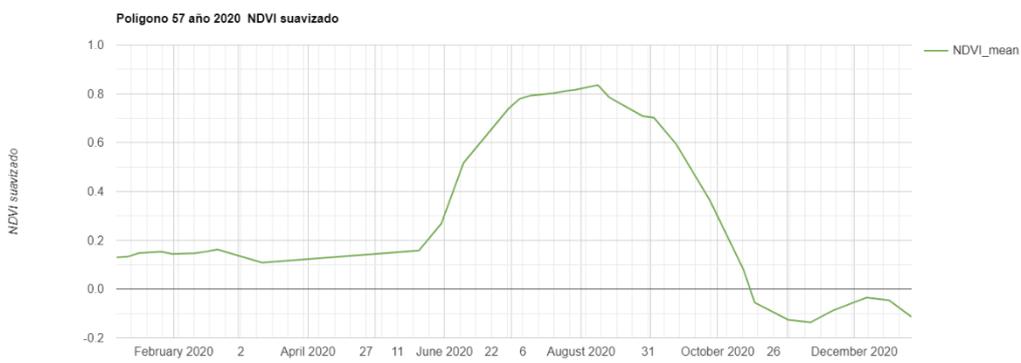
Gráficos del índice NDVI, año 2018



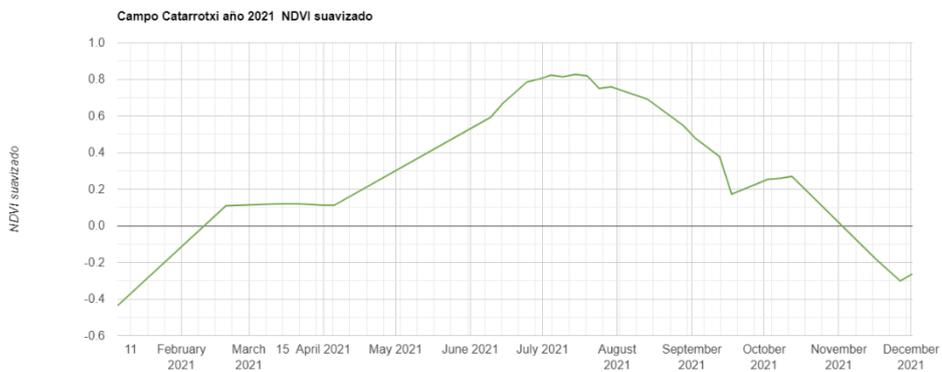
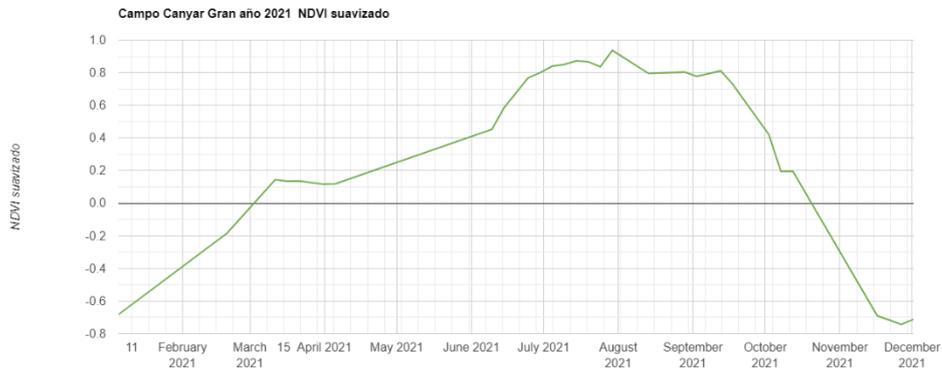
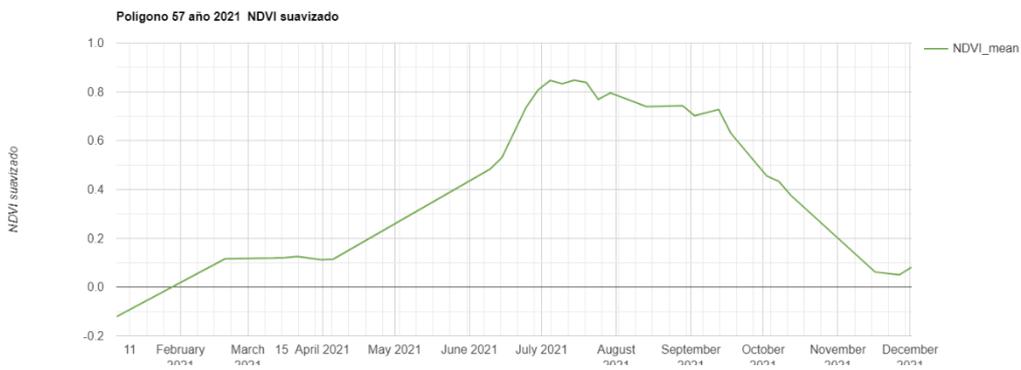
Gráficos del índice NDVI, año 2019



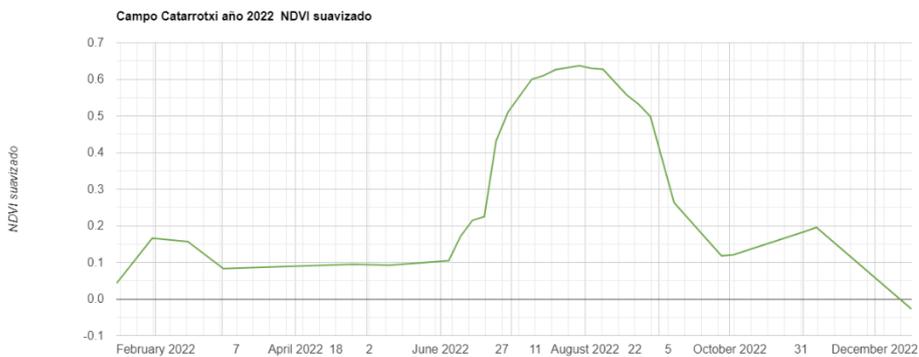
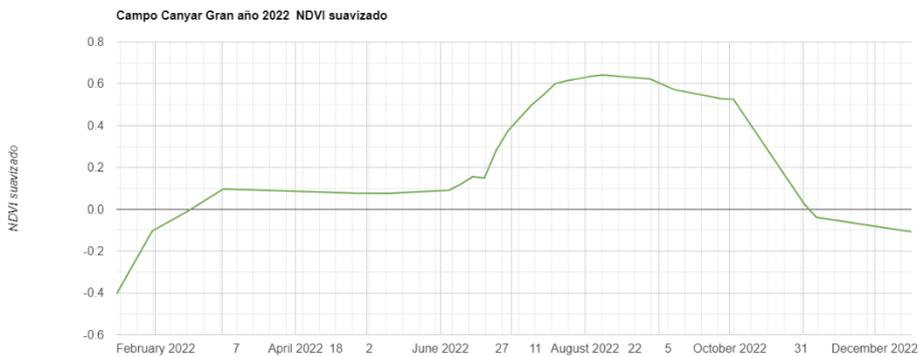
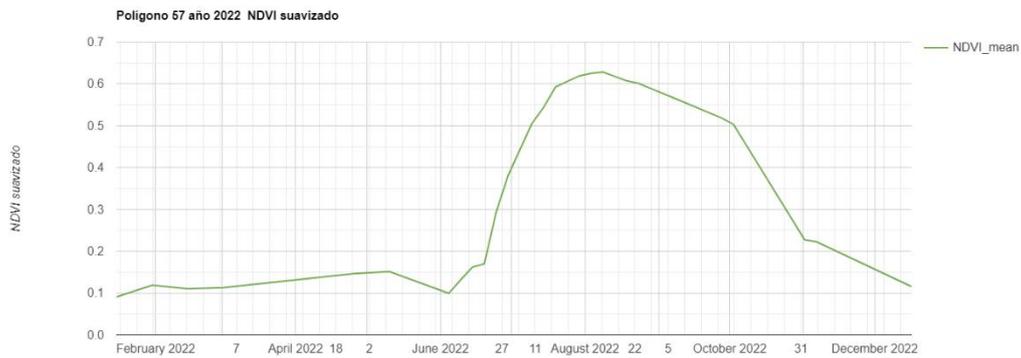
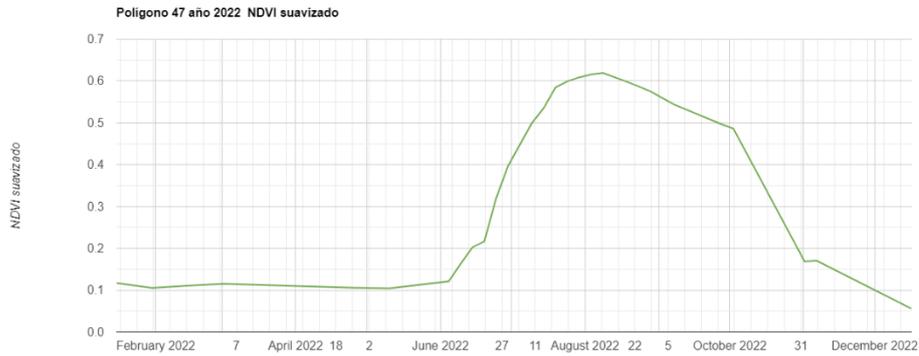
## Gráficos del índice NDVI, año 2020



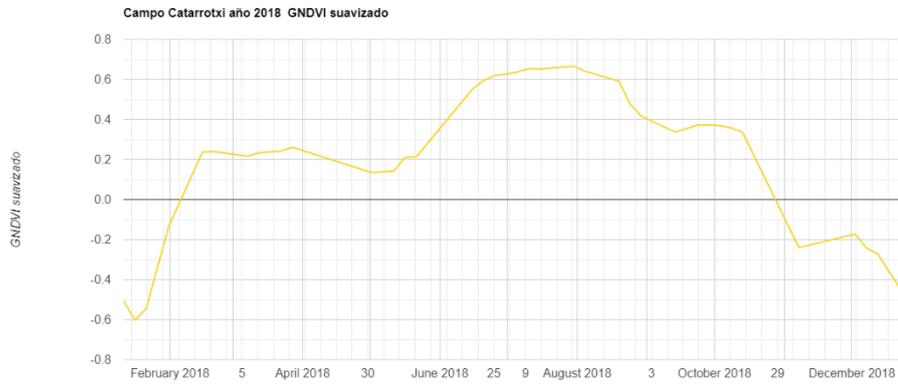
## Gráficos del índice NDVI, año 2021



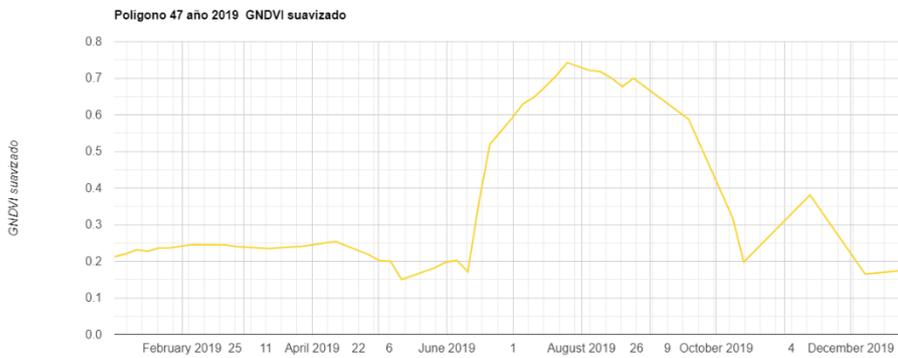
## Gráficos del índice NDVI, año 2022



## Gráficos del índice GNDVI, año 2018



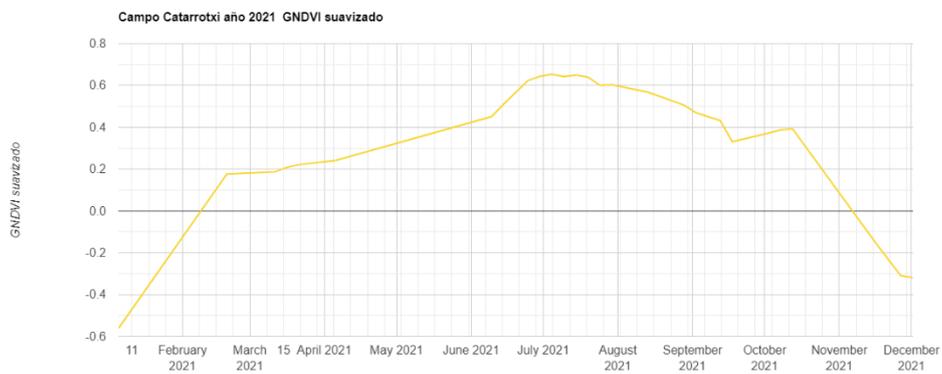
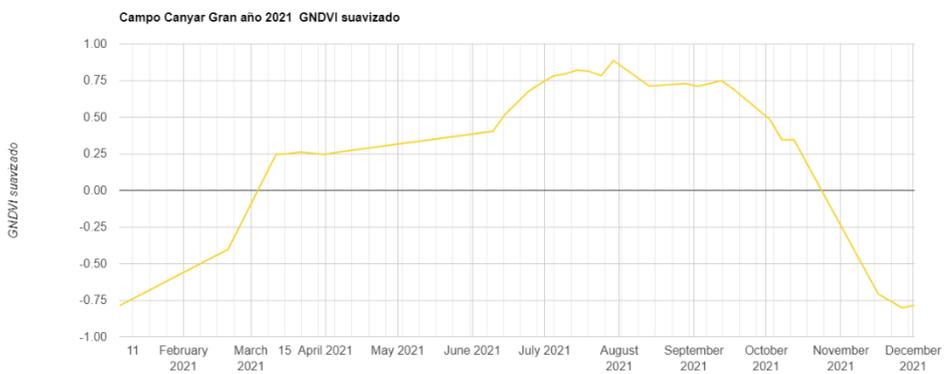
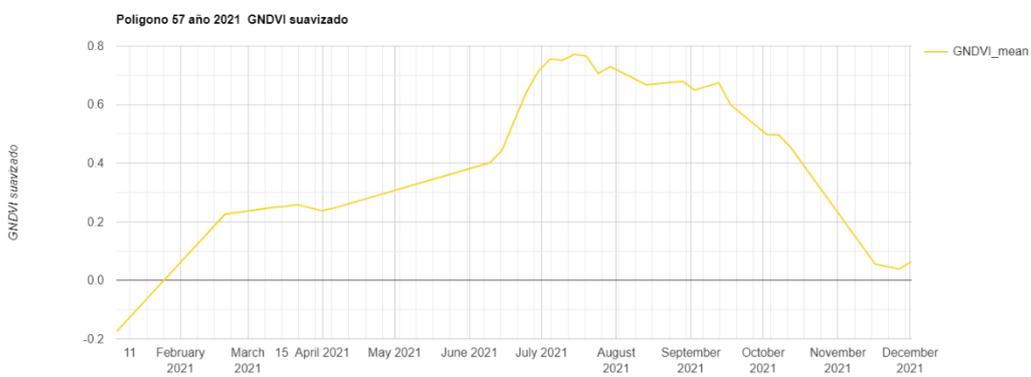
## Gráficos del índice GNDVI, año 2019



## Gráficos del índice GNDVI, año 2020

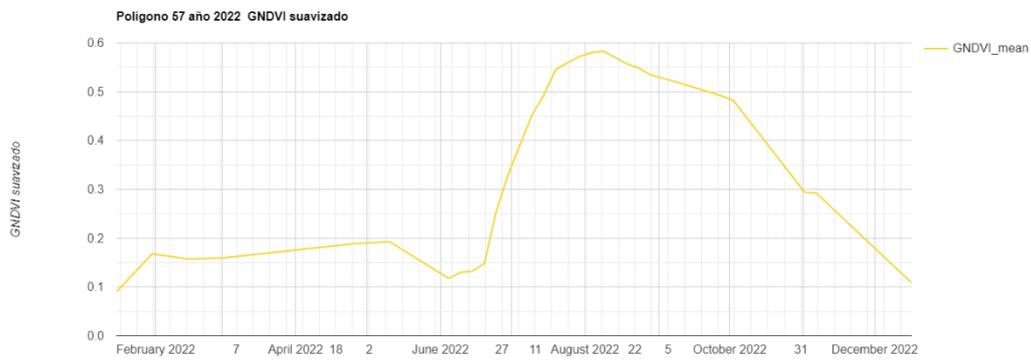
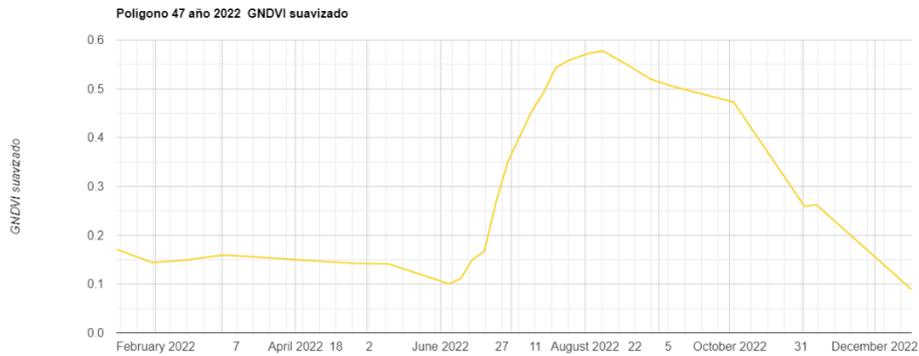


## Gráficos del índice GNDVI, año 2021

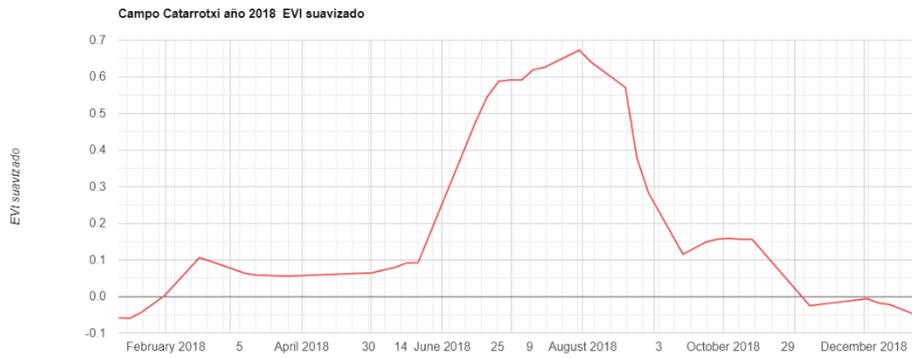




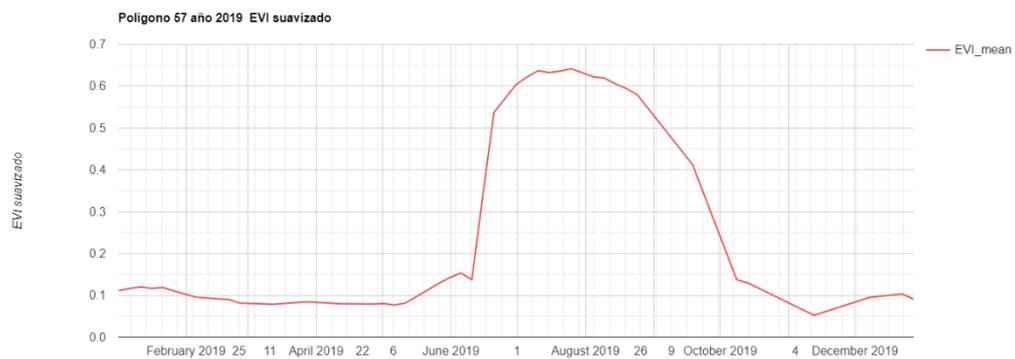
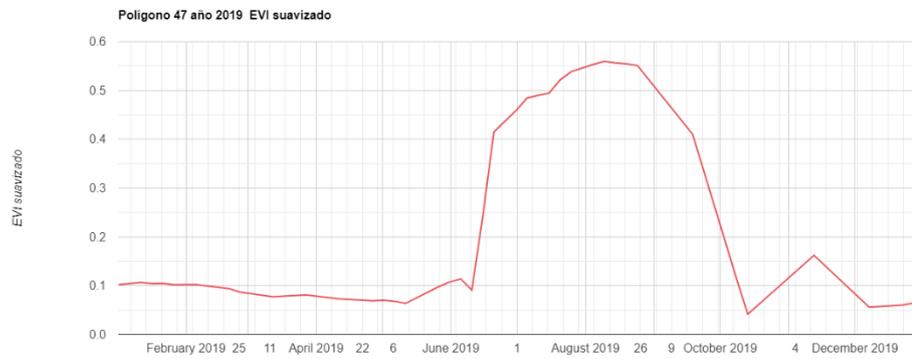
## Gráficos del índice GNDVI, año 2022



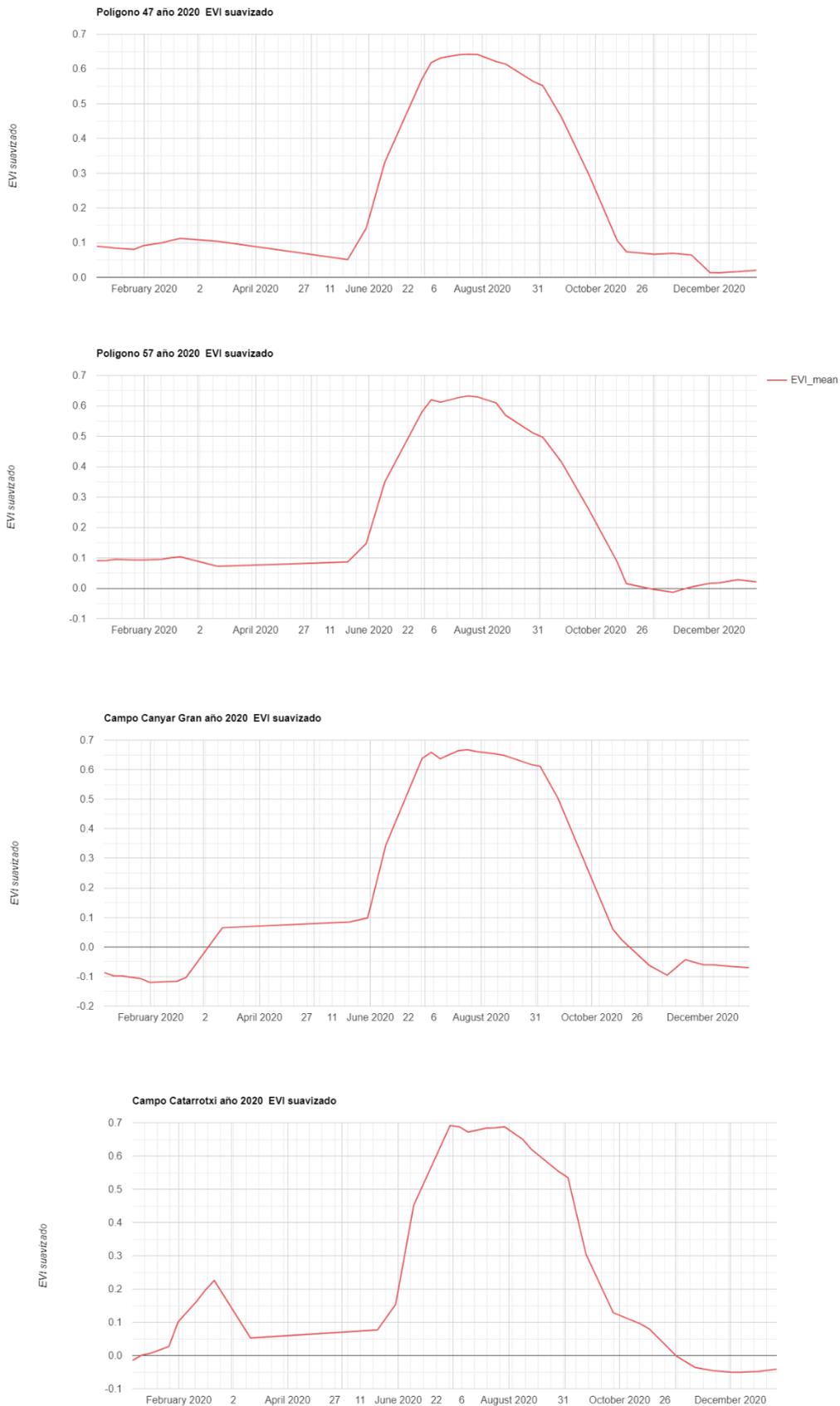
## Gráficos del índice EVI, año 2018



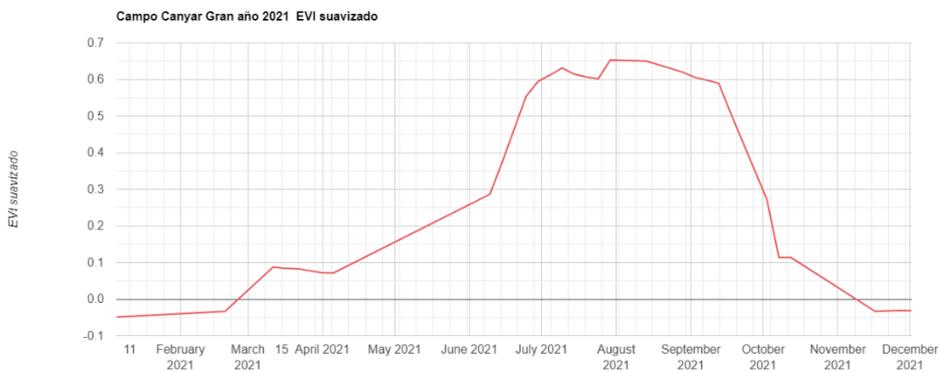
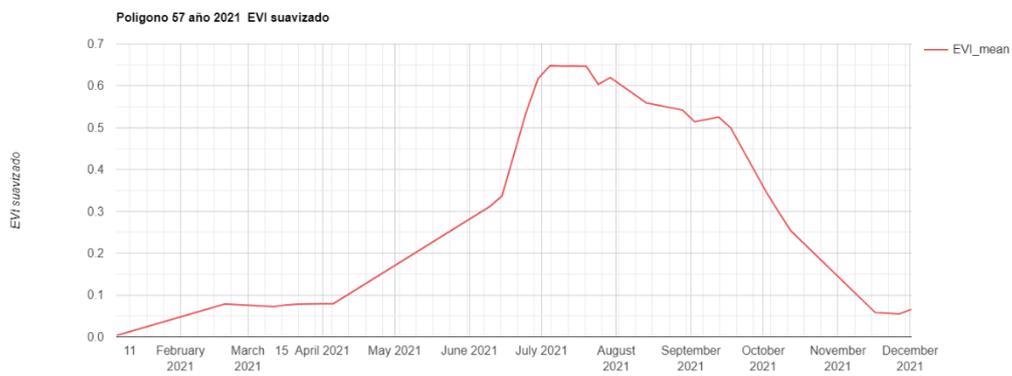
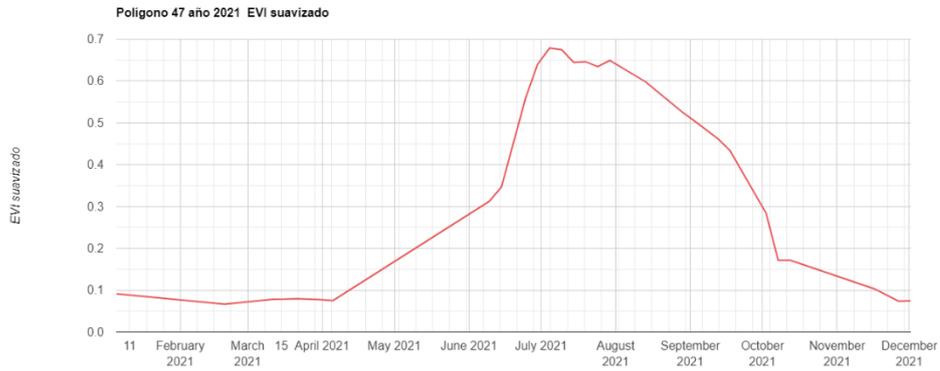
## Gráficos del índice EVI, año 2019



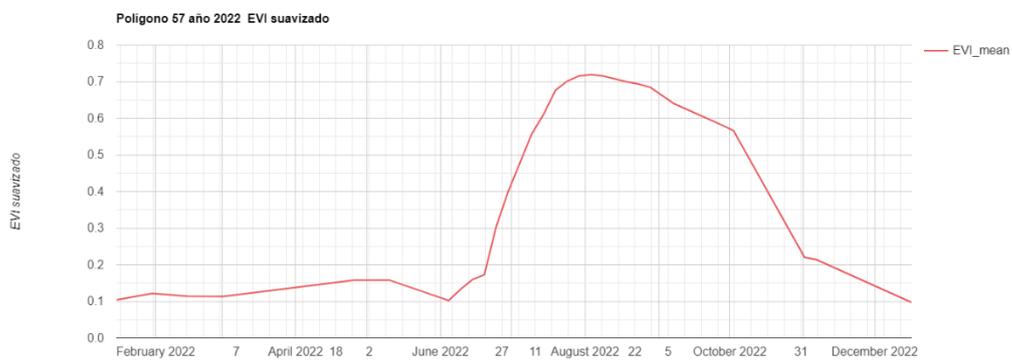
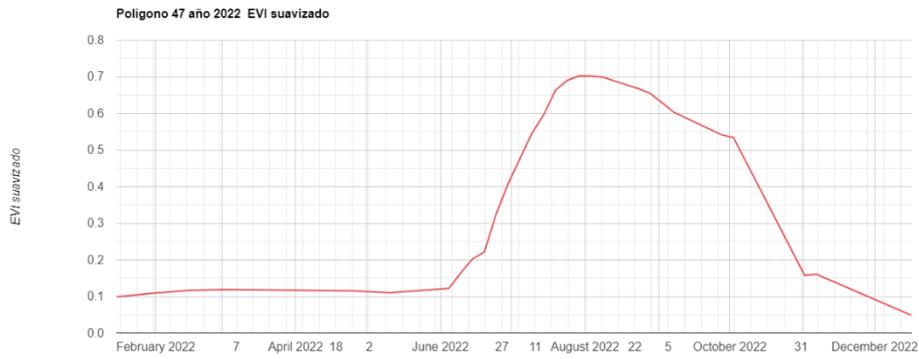
## Gráficos del índice EVI, año 2020



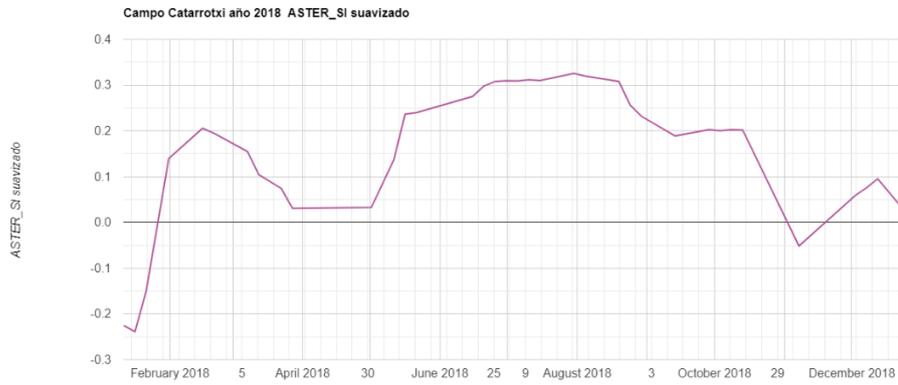
## Gráficos del índice EVI, año 2021



## Gráficos del índice EVI, año 2022



## Gráficos del índice ASTER\_SI, año 2018



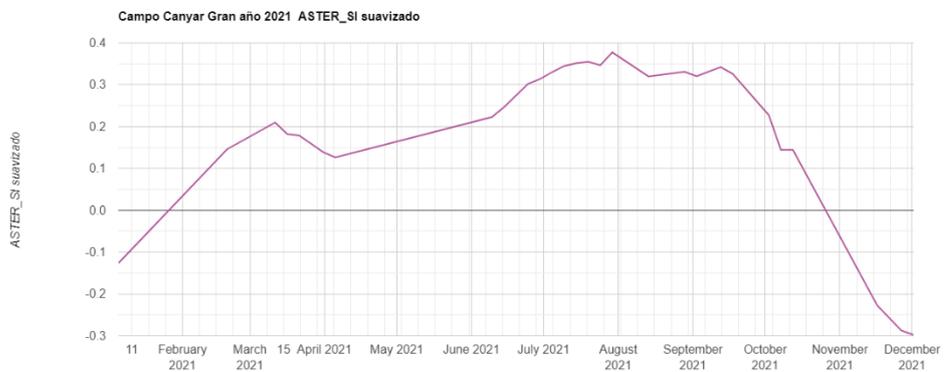
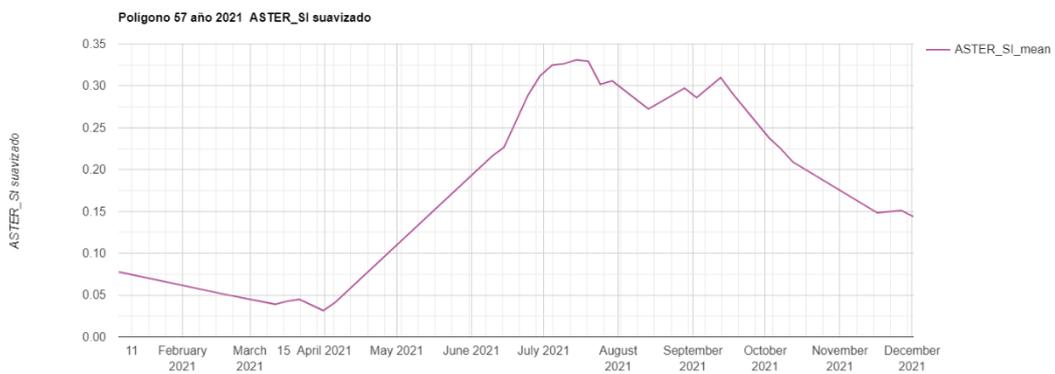
## Gráficos del índice ASTER\_SI, año 2019



## Gráficos del índice ASTER\_SI, año 2020

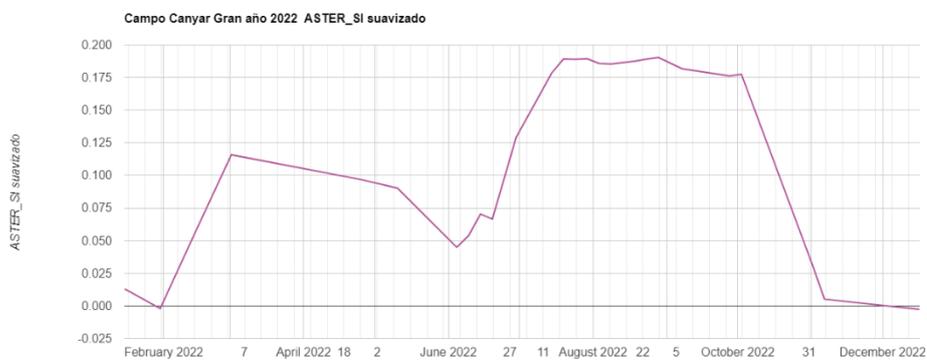
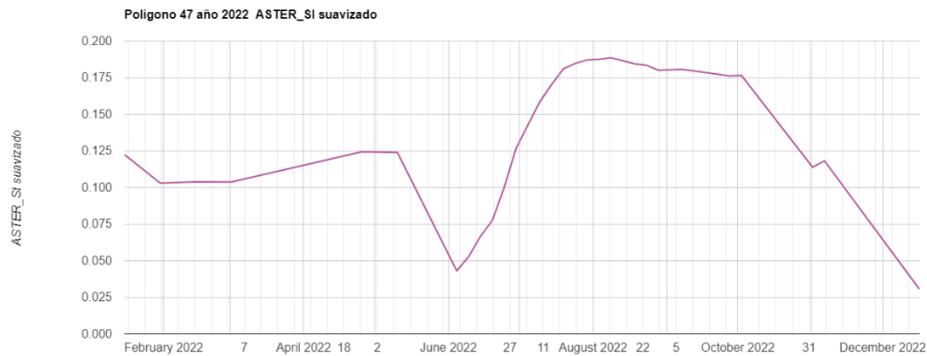


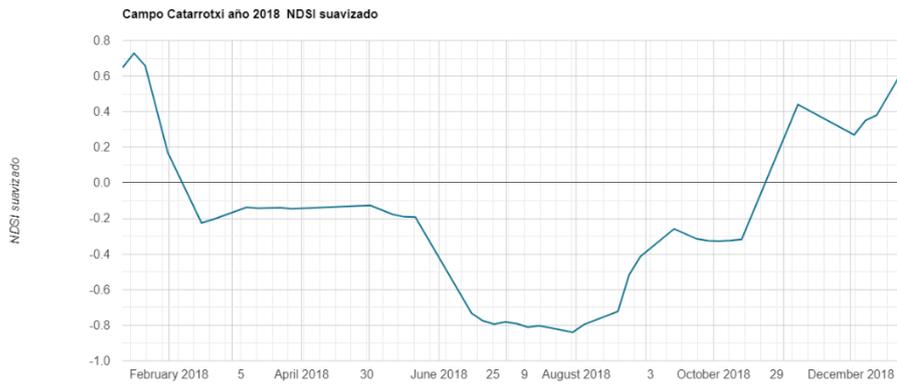
## Gráficos del índice ASTER\_SI, año 2021



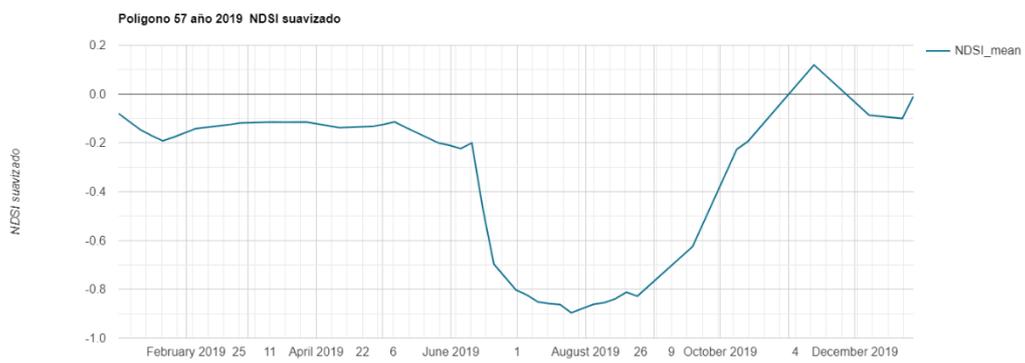
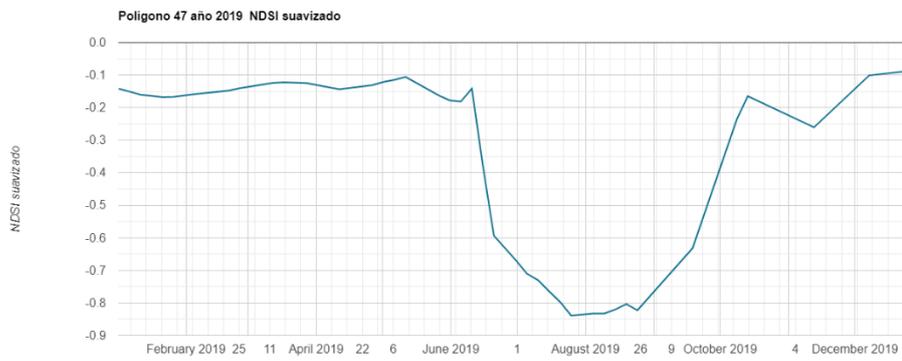


## Gráficos del índice ASTER\_SI, año 2022

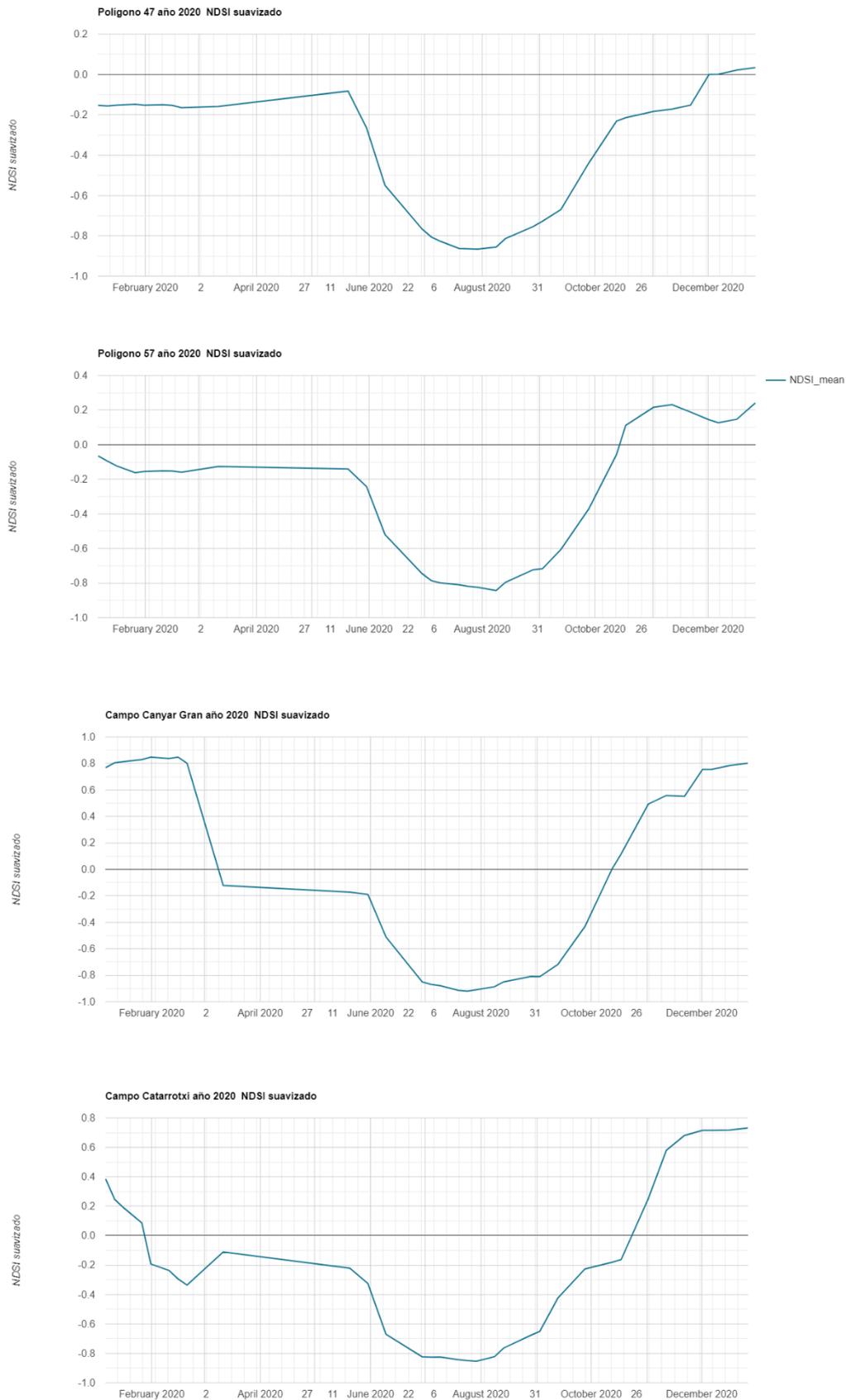




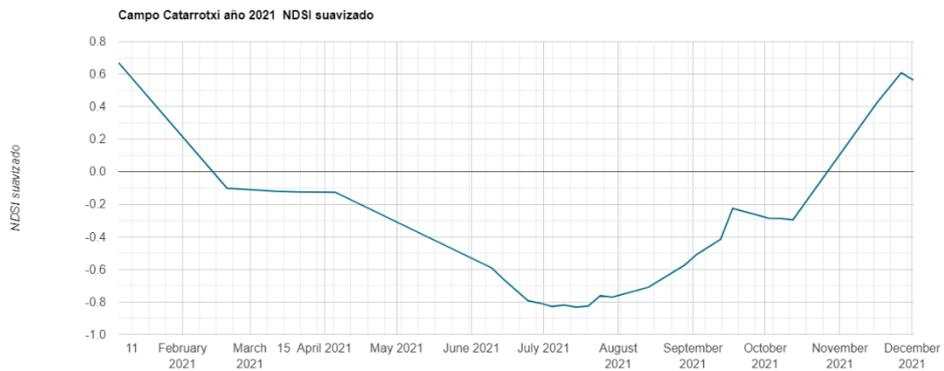
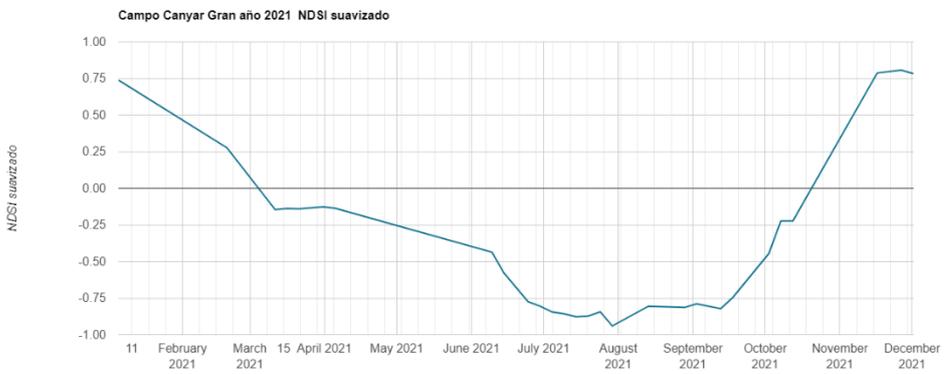
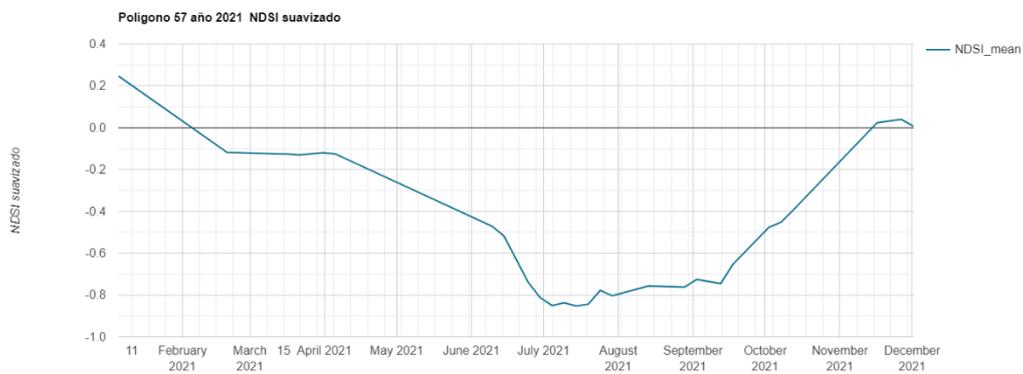
### Gráficos del índice NDSI, año 2019



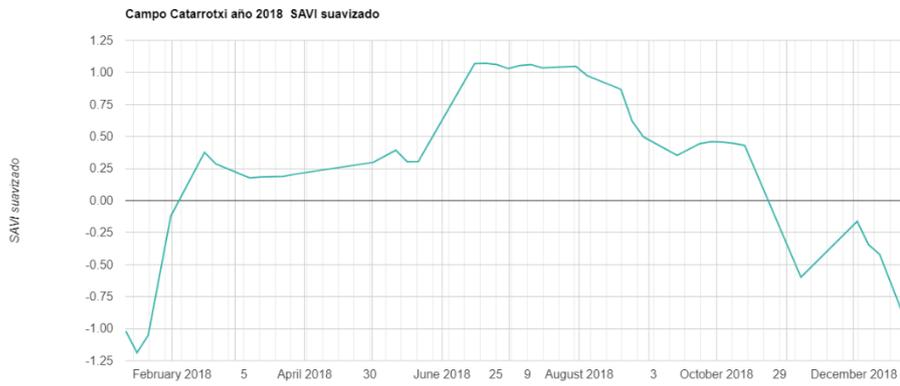
## Gráficos del índice NDSI, año 2020



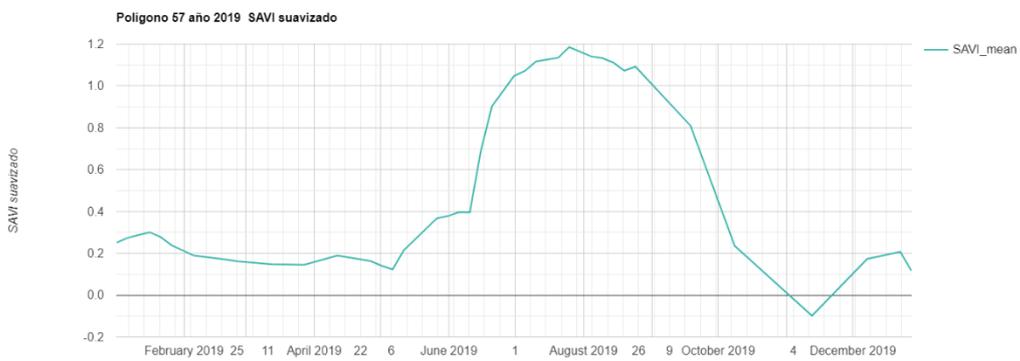
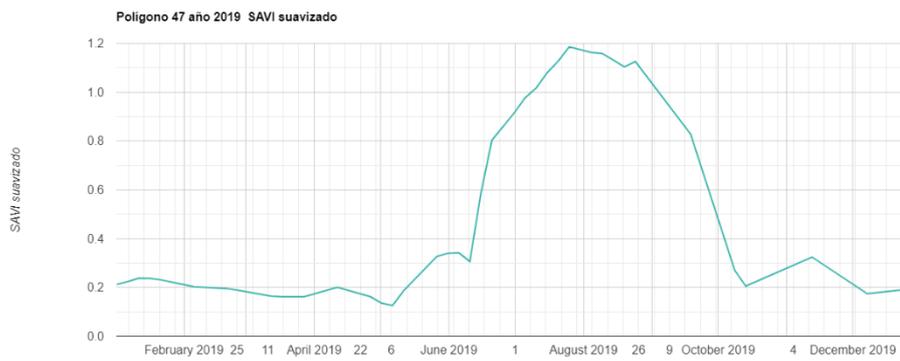
## Gráficos del índice NDSI, año 2021



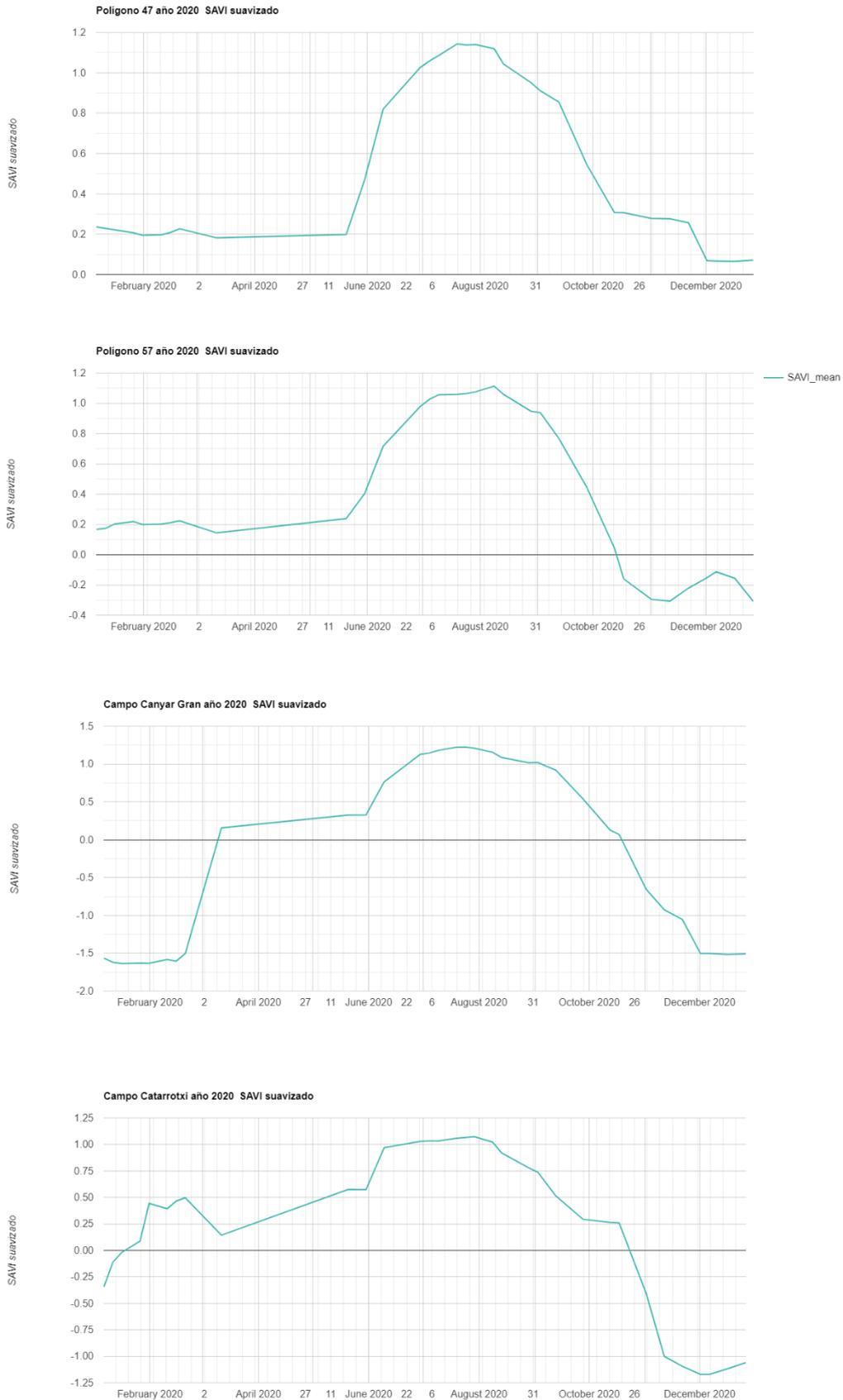
## Gráficos del índice SAVI, año 2018



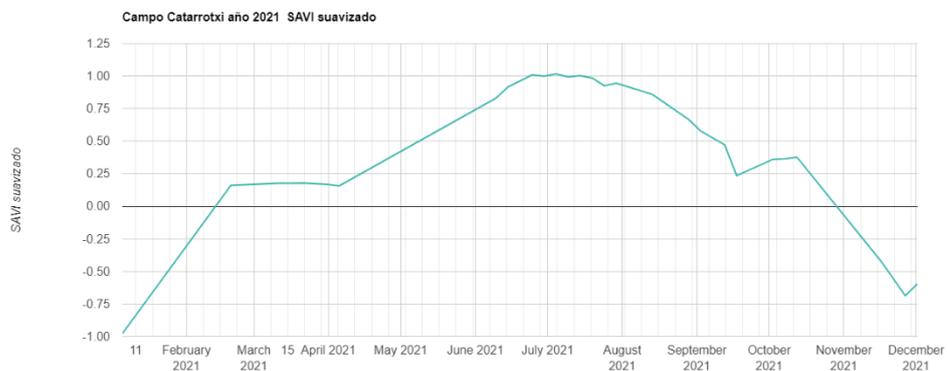
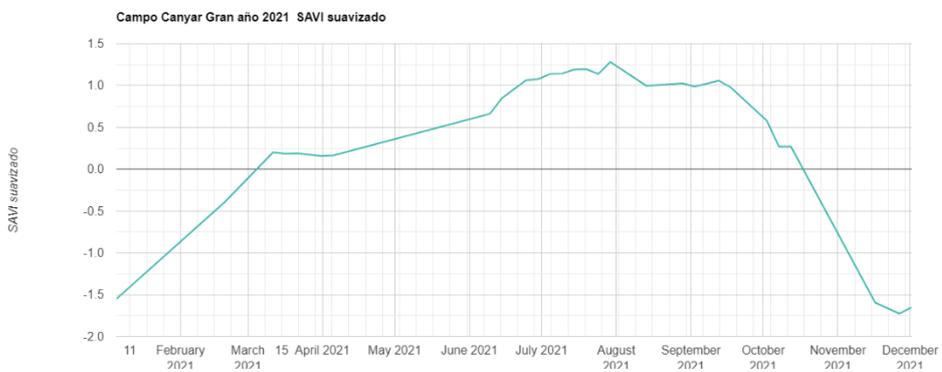
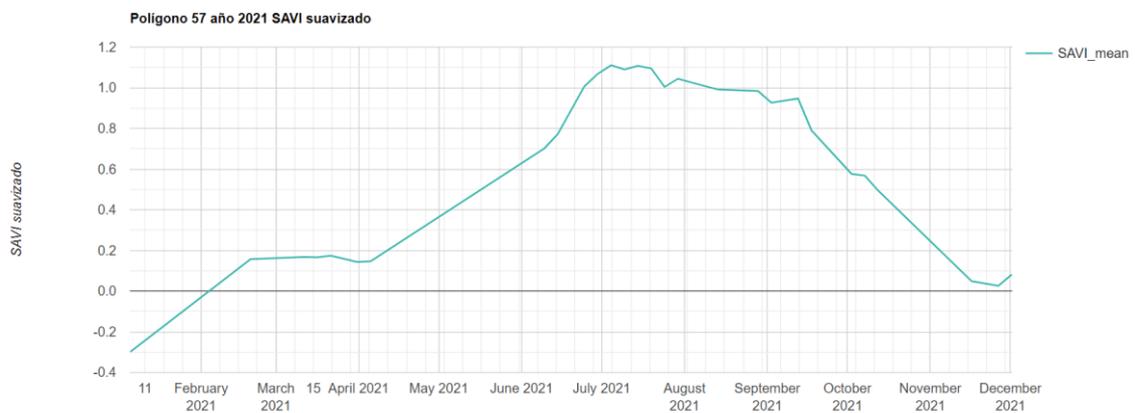
## Gráficos del índice SAVI, año 2019



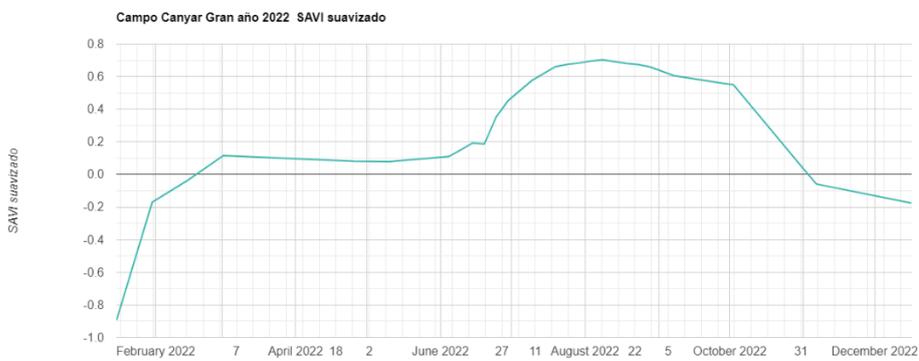
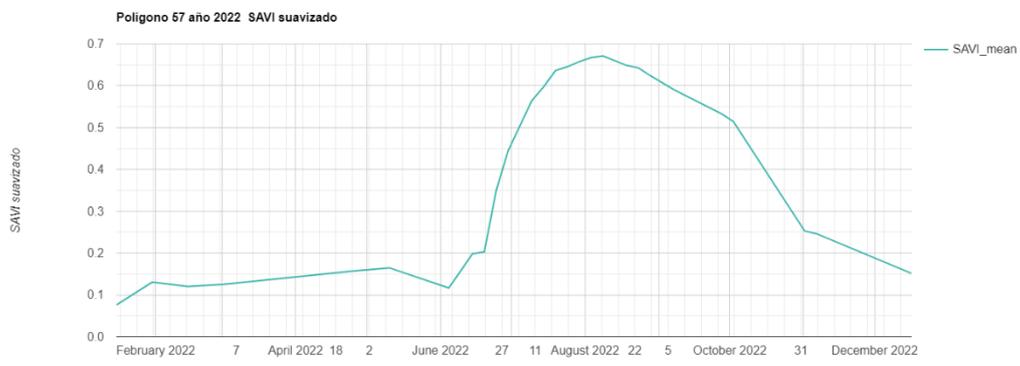
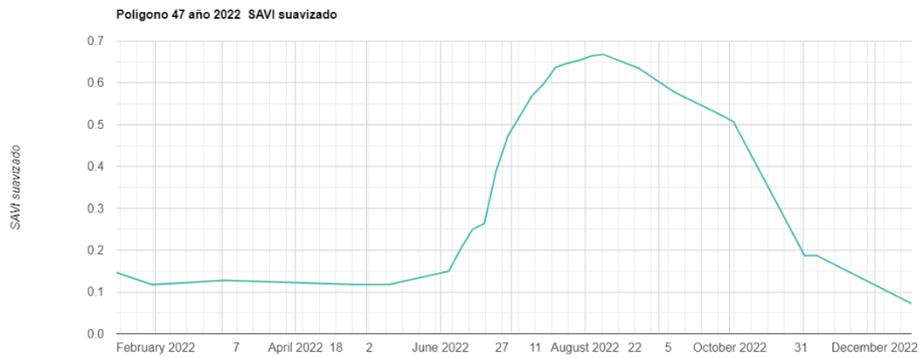
## Gráficos del índice SAVI, año 2020



## Gráficos del índice SAVI, año 2021

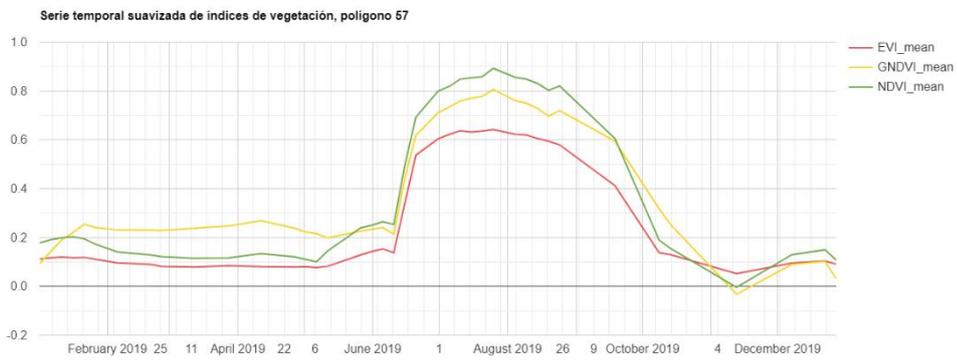
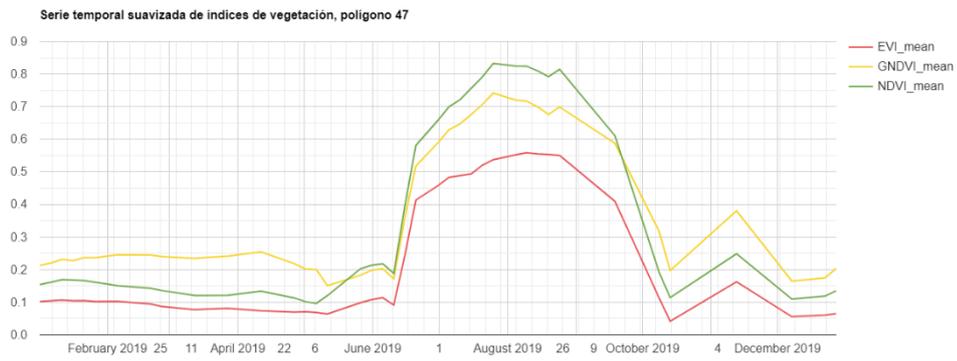


## Gráficos del índice SAVI, año 2022

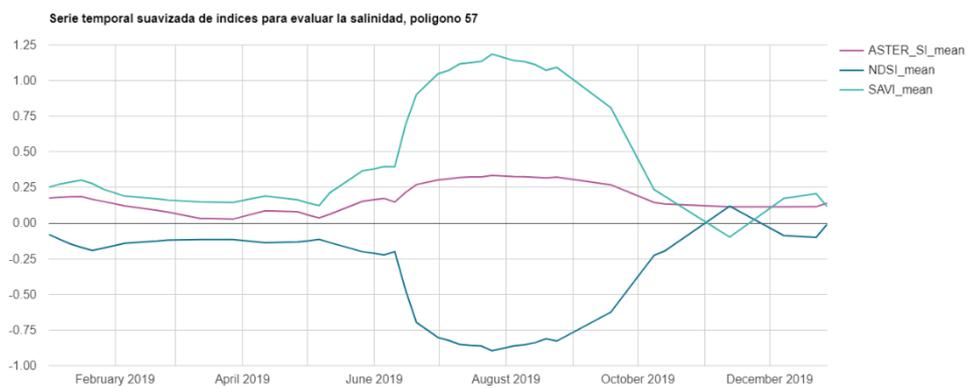
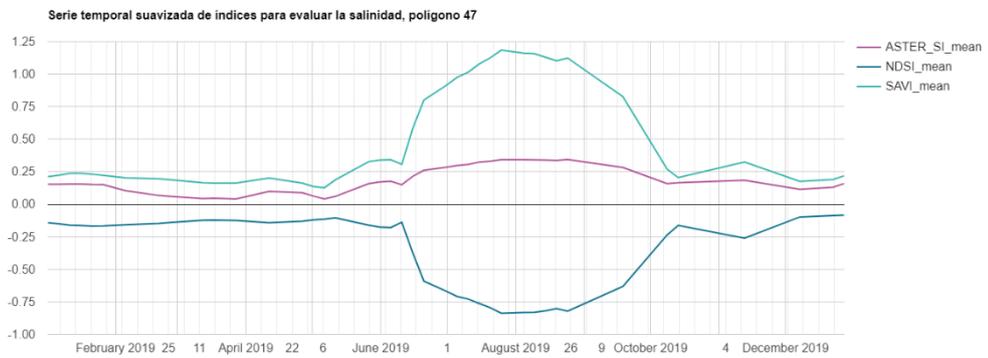




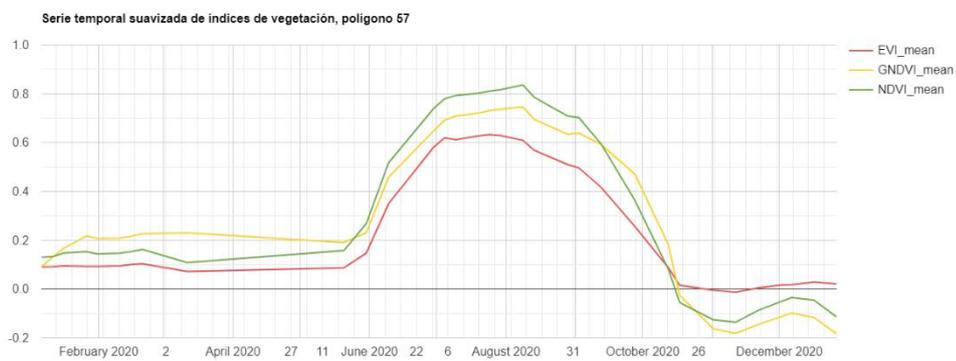
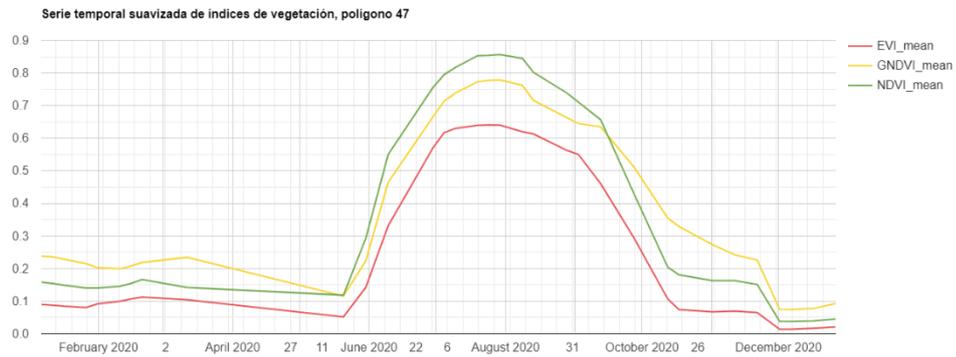
## Gráficos de los índices de vegetación, año 2019



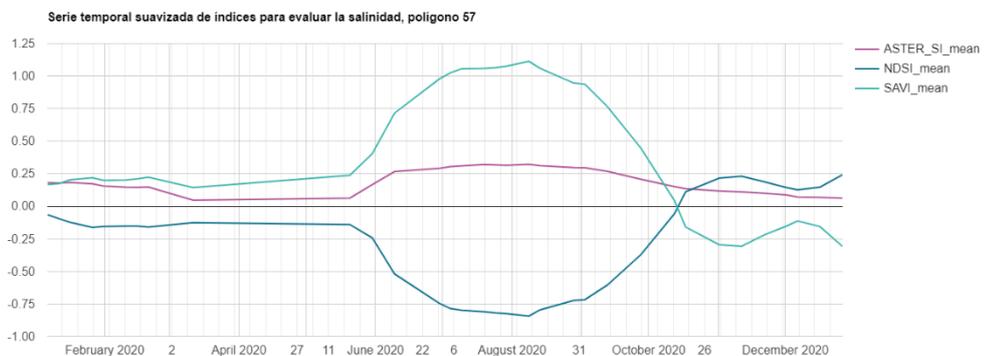
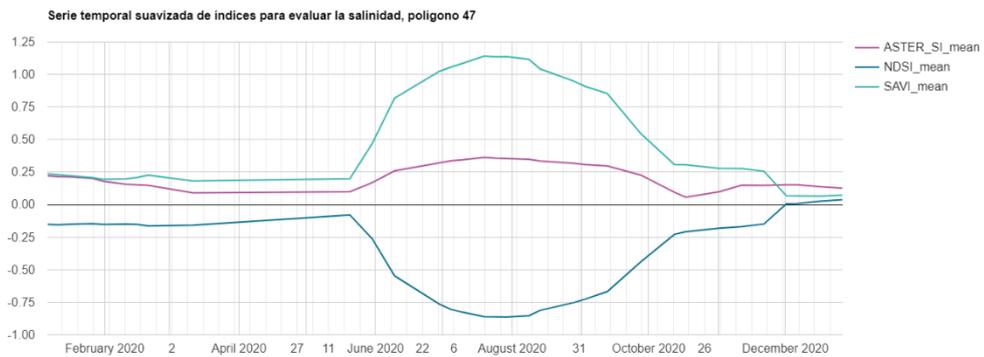
## Gráficos de los índices para evaluar la salinidad, año 2019



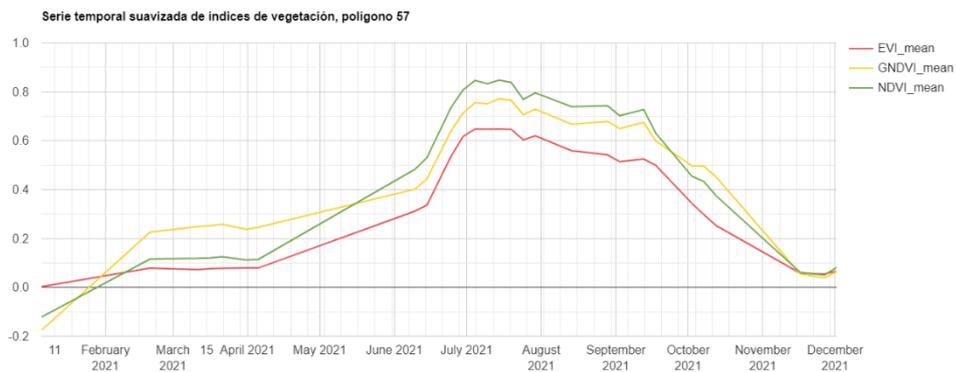
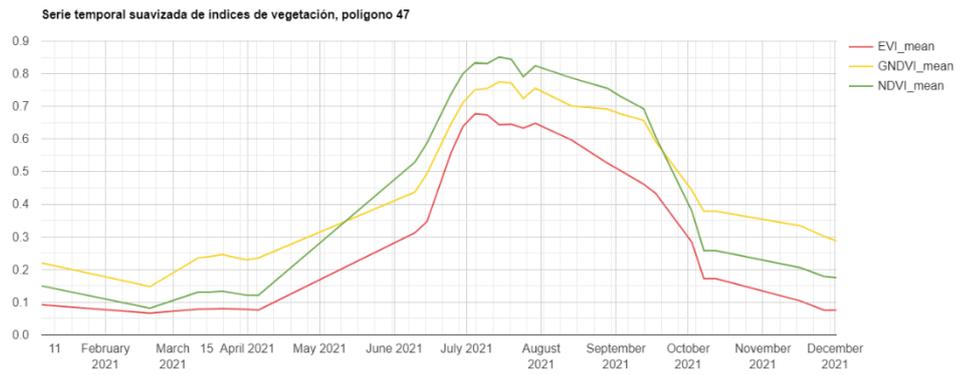
## Gráficos de los índices de vegetación, año 2020



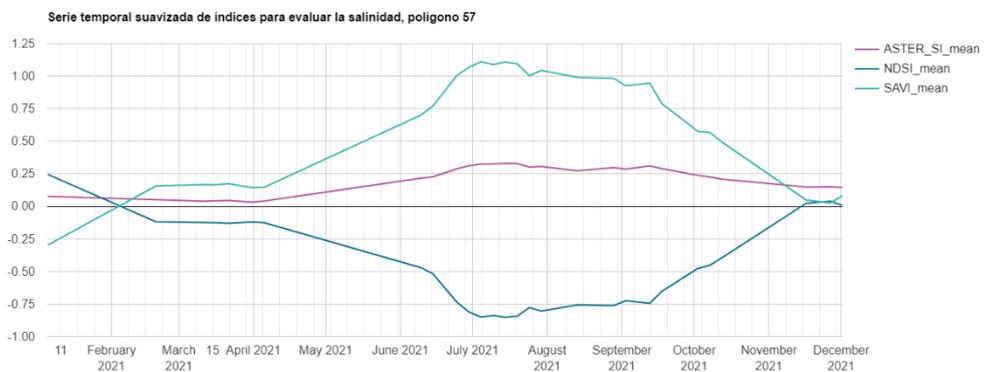
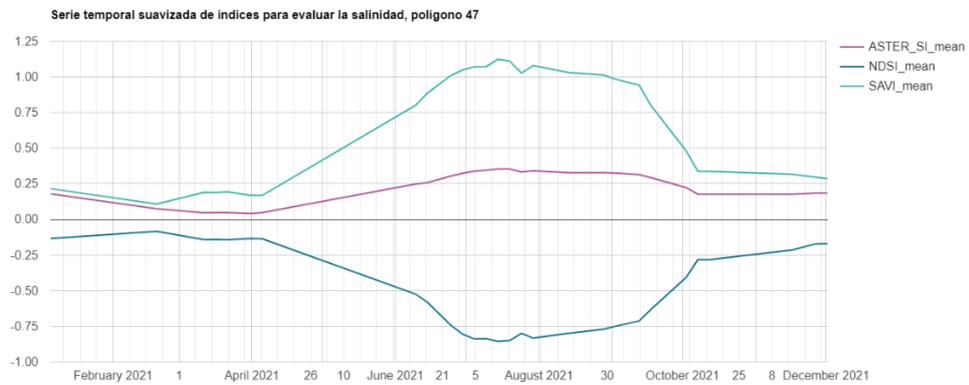
## Gráficos de los índices para evaluar la salinidad, año 2020



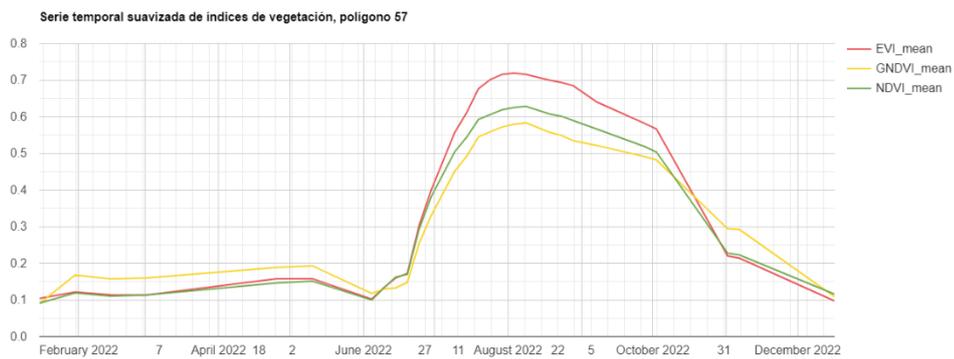
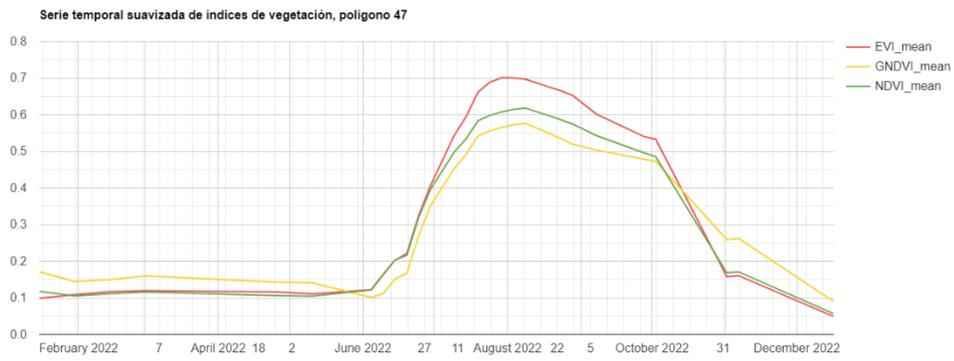
## Gráficos de los índices de vegetación, año 2021



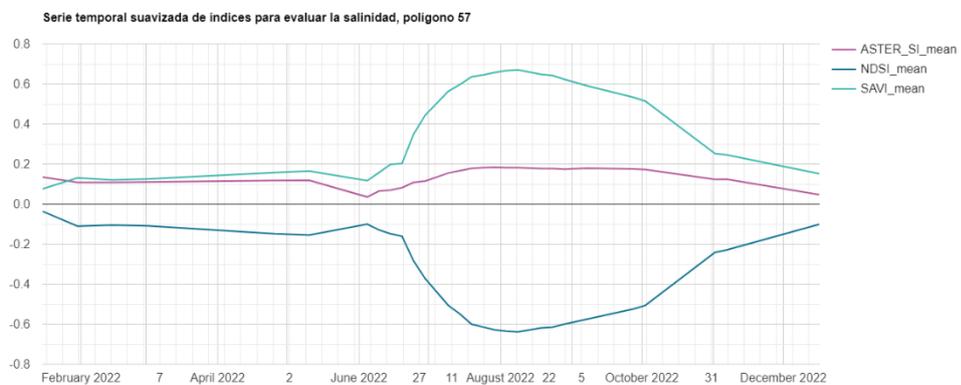
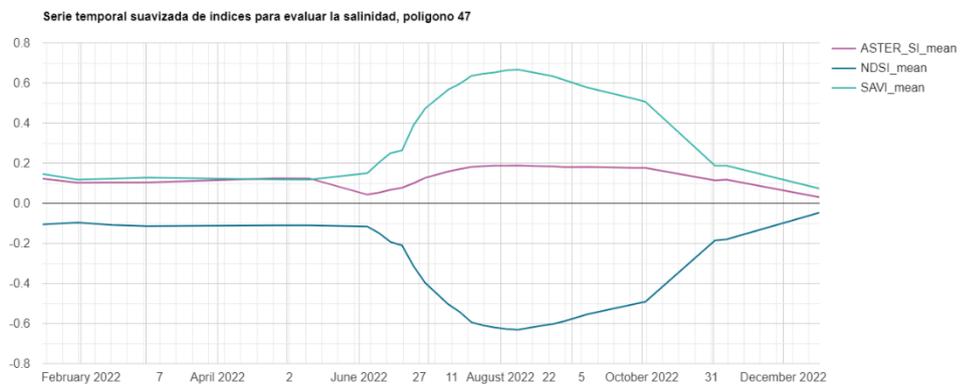
## Gráficos de los índices para evaluar la salinidad, año 2021



## Gráficos de los índices de vegetación, año 2022

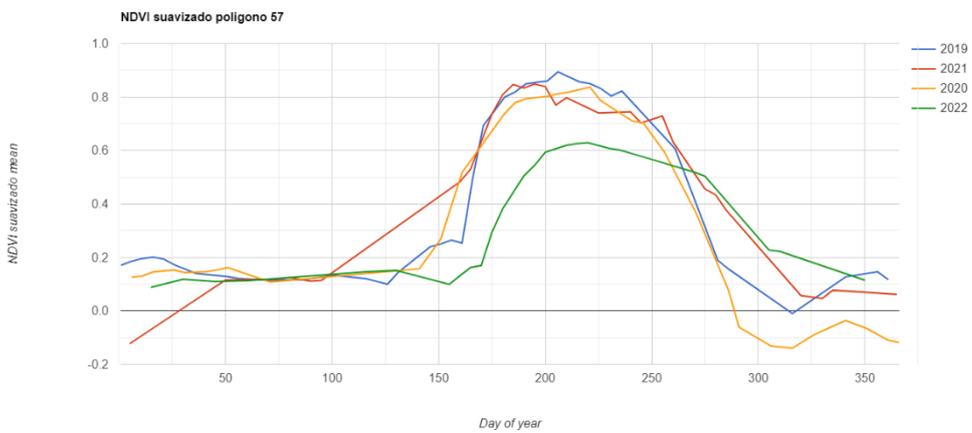
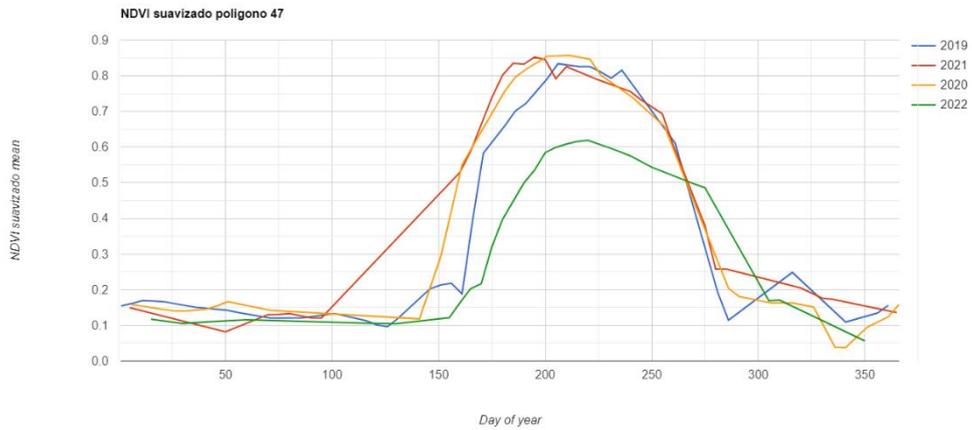


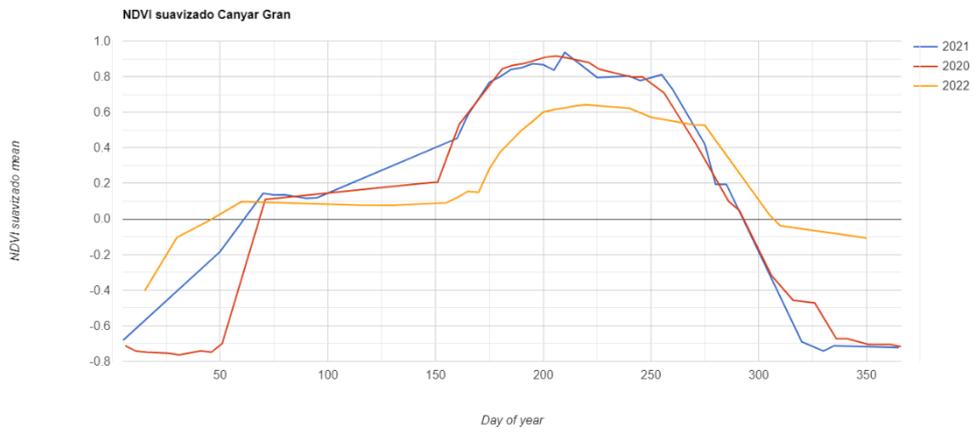
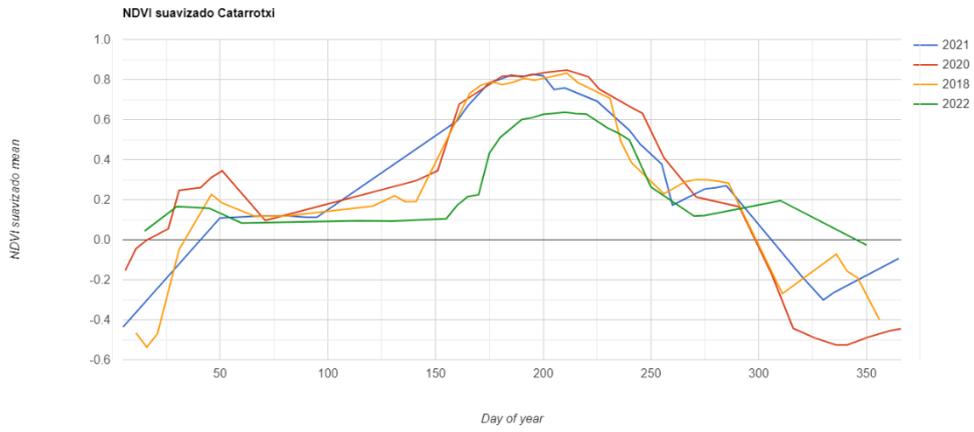
## Gráficos de los índices para evaluar la salinidad, año 2022



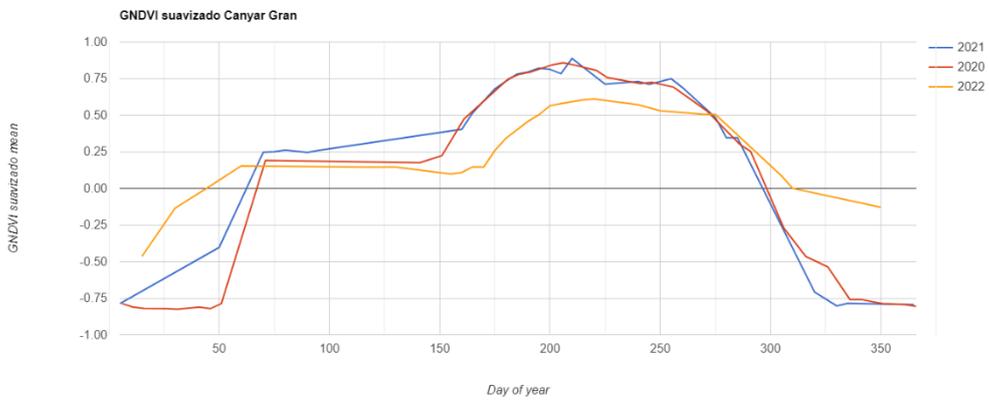
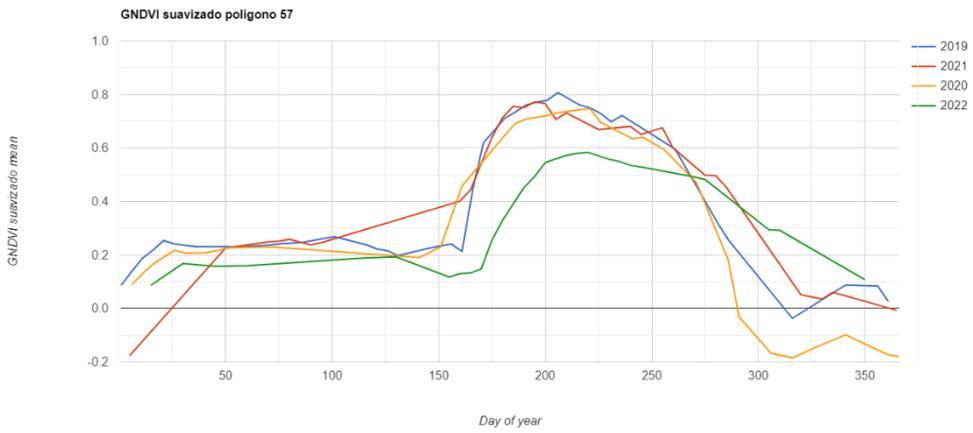
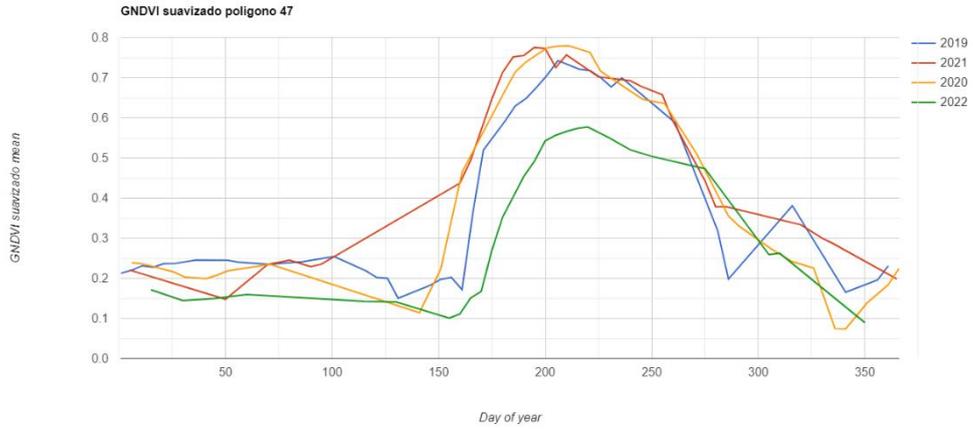
### Gráficos individuales de cada índice de vegetación y salinidad en el periodo de estudio de las áreas definidas

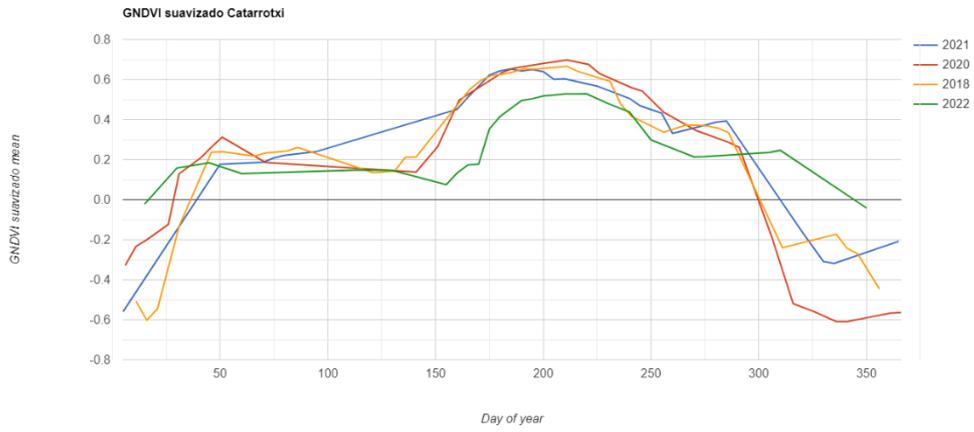
Variación en los años de estudio del índice NDVI





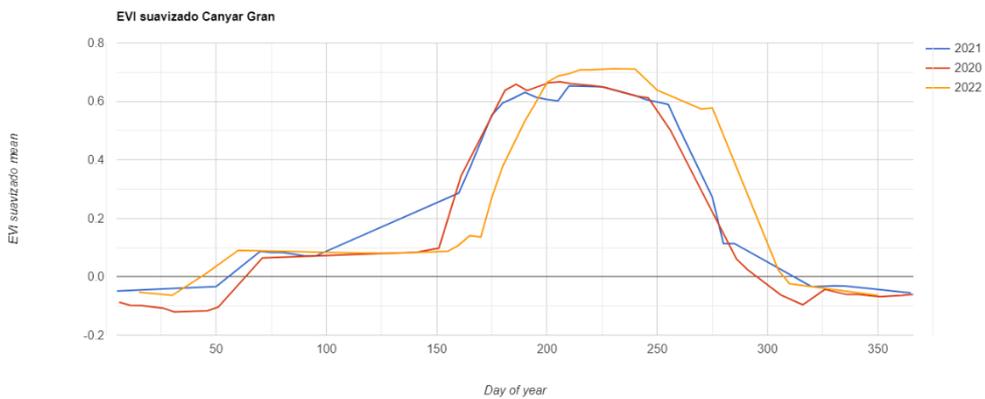
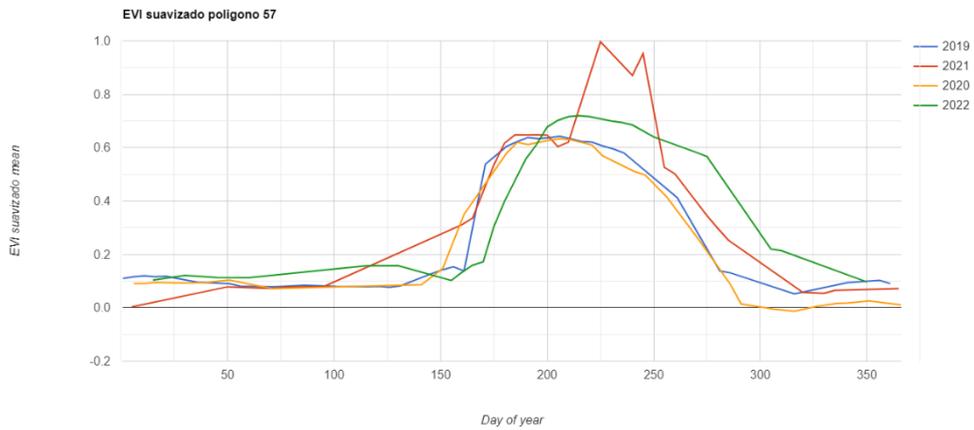
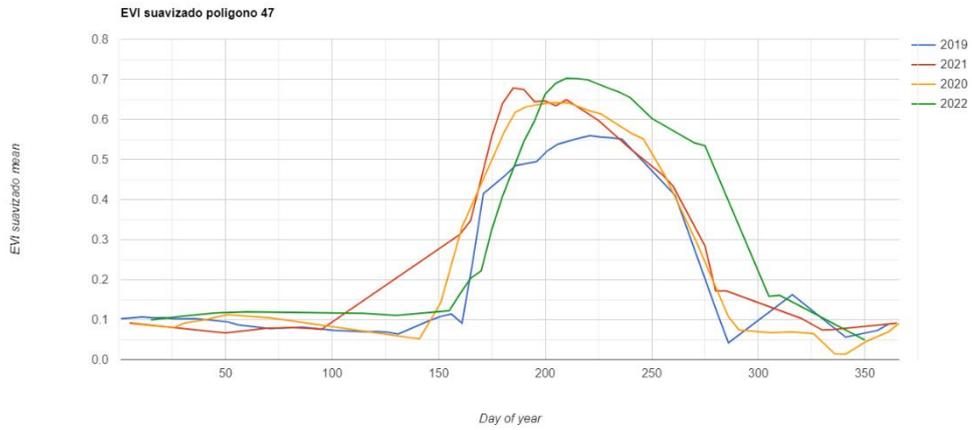
### Variación en los años de estudio del índice GNDVI

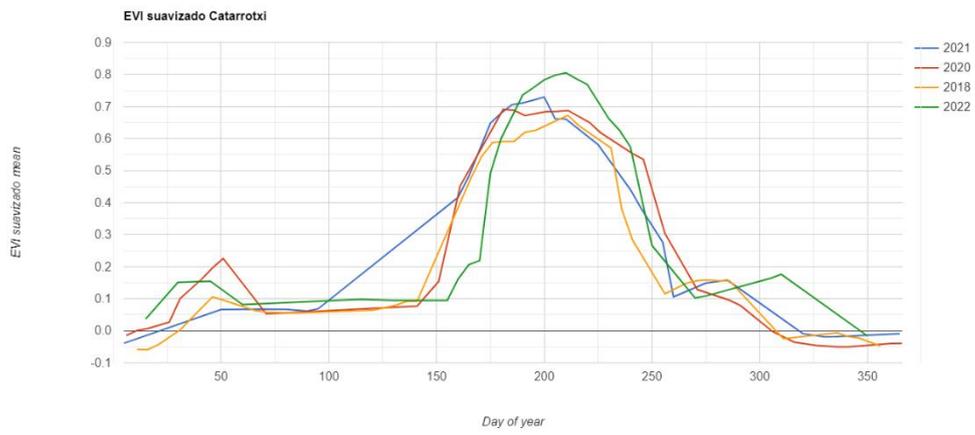




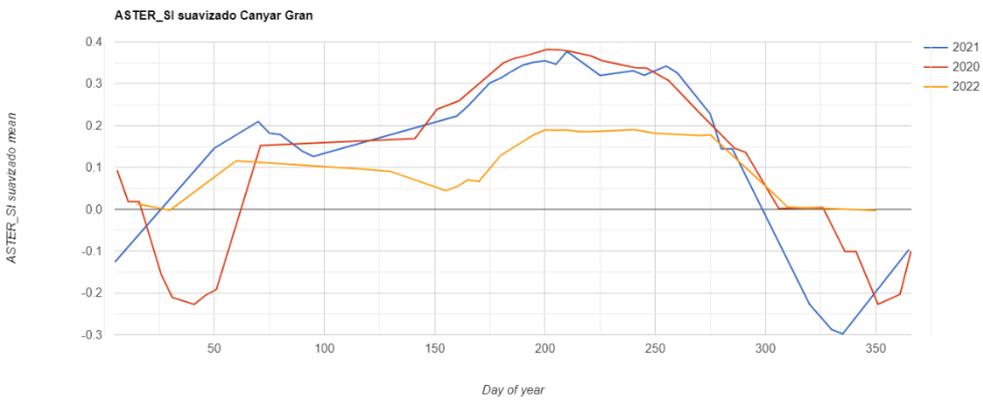
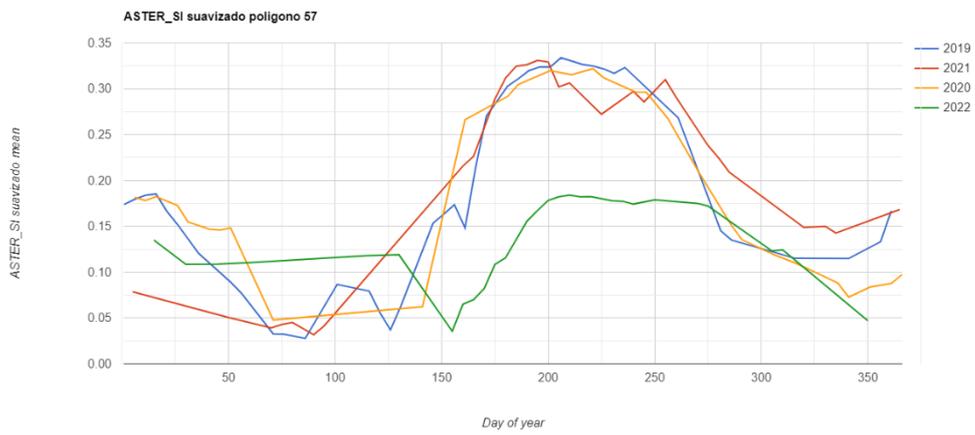
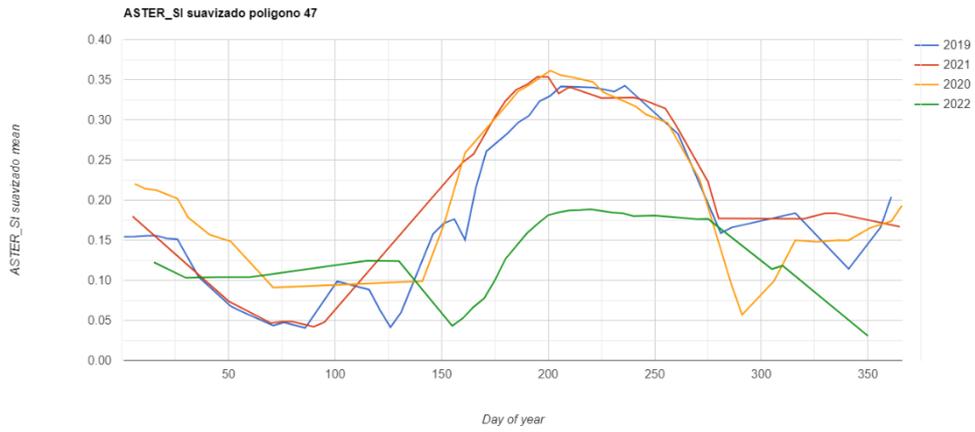


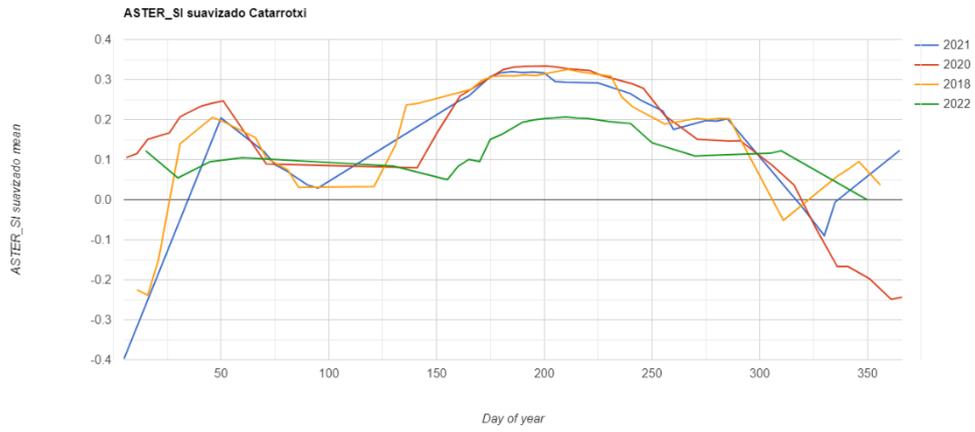
### Variación en los años de estudio del índice EVI



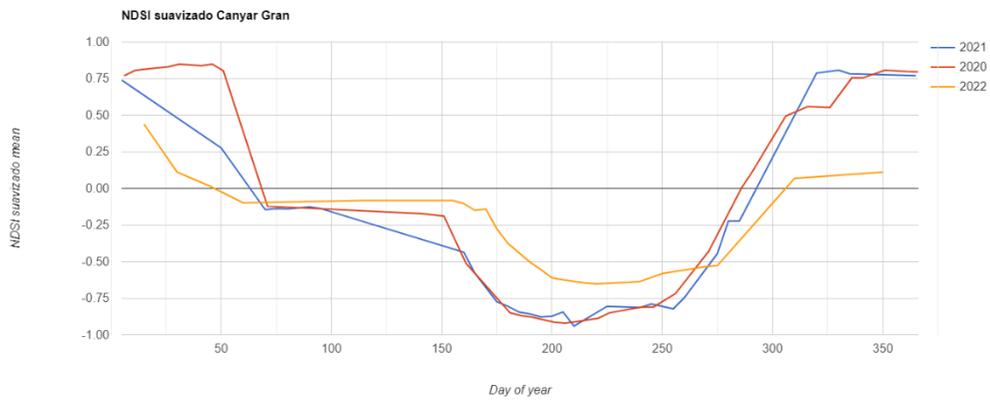
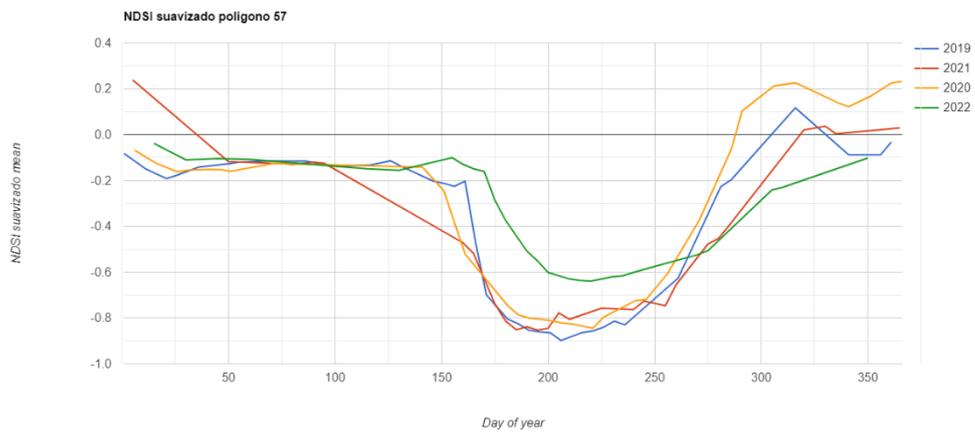
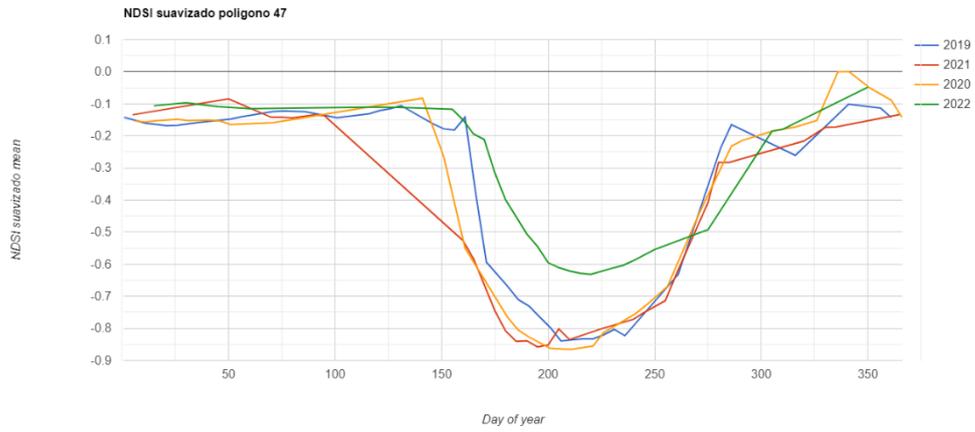


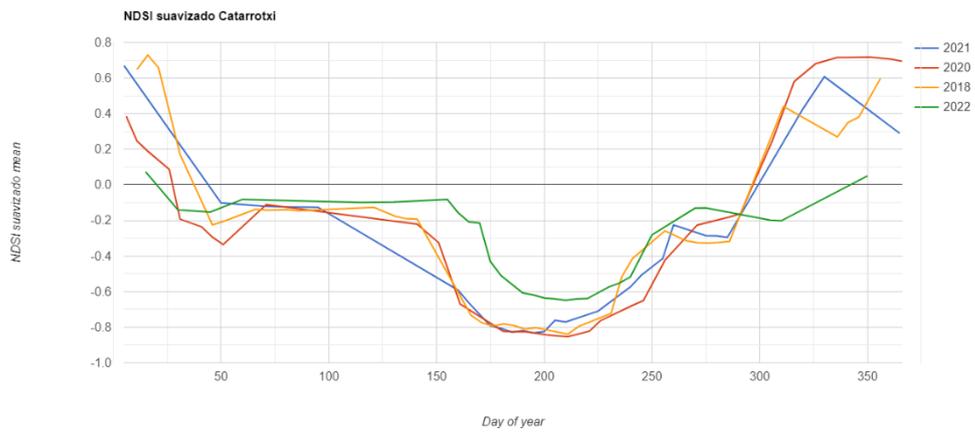
### Variación en los años de estudio del índice ASTER\_SI



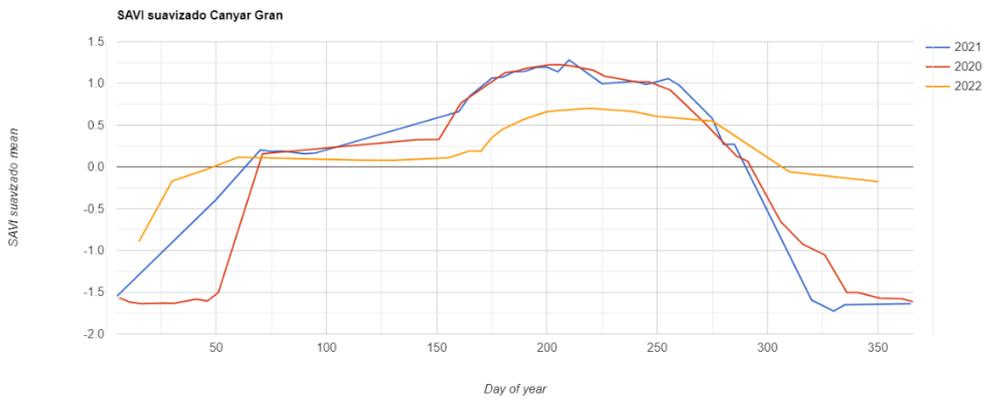
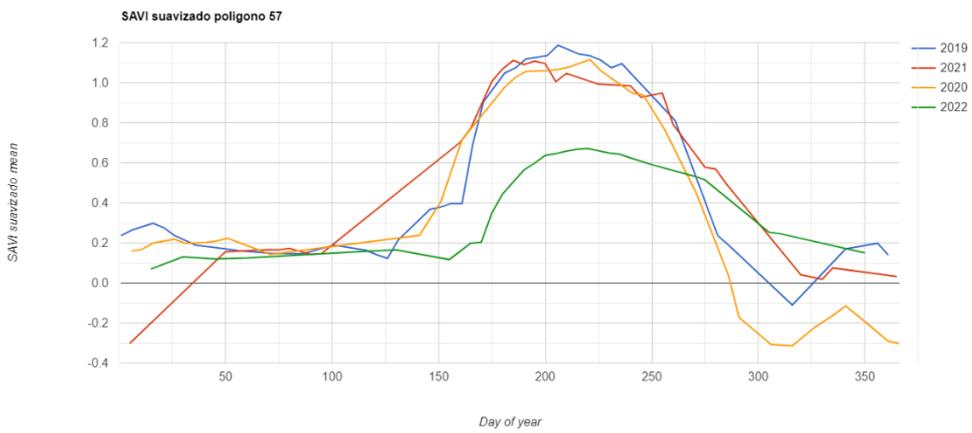
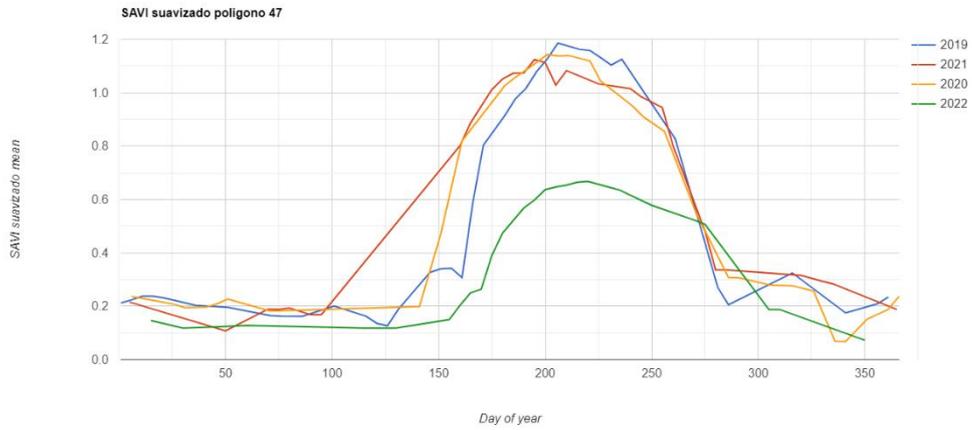


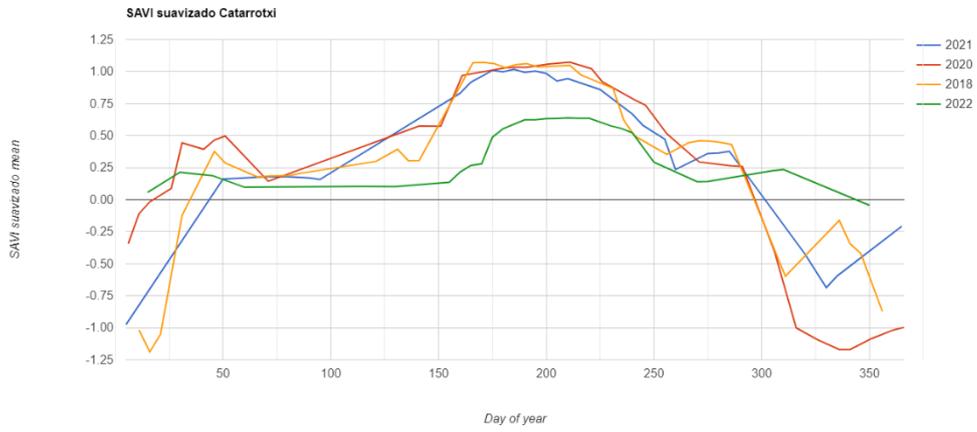
### Variación en los años de estudio del índice NDSI





### Variación en los años de estudio del índice SAVI







**Tablas de los datos de producción y de los parámetros agronómicos para los campos de Catarrotxi y Canyar Gran, así como de los valores obtenidos para los polígonos catastrales**

Tabla de los datos de producción, máximos y mínimos y producción estimada de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran

	AÑO	NDVI	GNDVI	EVI	NDSI	ASTER_SI	SAVI	total kg	Kg/hanegada	Kg/hectárea	producción estimada kg/ha	diferencia entre la producción estimada y la	fecha siembra	fecha cosecha
Canyar Gran <b>Jsendra</b> 60,89	2020	0,980	0,93174	0,82622	0,99427	-0,94595	1,34512	53962	886,2	10634,7	12815,3	2180,6	18 de Mayo	30 de Septiembre
	2021	0,976	0,92904	0,81524	0,99038	-0,9310	1,41576	53528	879,1	10549,1	12725,6	2176,5	20 de Mayo	6 y 7 de Octubre
	2022	0,671	0,64975	0,76791	0,98206	-0,85714	0,72446	47056	772,8	9273,6	5518,2	-3755,5	7 de Junio	13 de Octubre
Catarrotxi <b>Bomba</b> 59,77	2018	0,893	0,72005	0,83968	0,99630	-0,93750	1,24008	25338	423,9	5087,1	10773,1	5686,0	7 y 8 Mayo	07 de Septiembre
	2020	0,890	0,75997	0,78069	0,94737	-0,92857	1,29390	27845	465,9	5590,4	10707,5	5117,0	16 y 17 Mayo	12 de Septiembre
	2021	0,906	0,71738	0,92287	0,99034	-0,92000	1,13772	27624	462,2	5546,1	11067,7	5521,7	17 y 18 Mayo	13 de Septiembre
Hanegadas	2022	0,698	0,58589	0,98057	0,46974	-0,13333	0,65956	14146	236,7	2840,1	6150,9	3310,8	4 y 5 de Junio	22 de Septiembre

Parámetros agronómicos obtenidos con TIMESAT de los campos de Catarrotxi y Canyar Gran.

	Inicio estación (día)	Fin estación (día)	Duración estación (días)	INDICE base de estación	Día mitad de estación	INDICE maximo	Amplitud del INDICE	INDICE al inicio estación	INDICE al final estación
NDVI año 2018 Campo de Catarrotxi	158	281	122	-0,079	203	0,859	0,939	0,487	0,293
NDVI año 2020 Campo de Catarrotxi	163	292	130	-0,203	213	0,861	1,064	0,478	0,180
NDVI año 2021 Campo de Catarrotxi	156	262	106	-0,108	210	0,812	0,920	0,392	0,313
NDVI año 2022 Campo de Catarrotxi	181	252	71	0,082	217	0,641	0,559	0,357	0,366
NDVI año 2020 Campo de Canyar Gran	174	292	118	-0,254	226	0,929	1,183	0,567	0,108
NDVI año 2021 Campo de Canyar Gran	167	292	125	-0,491	225	0,896	1,387	0,312	0,093
NDVI año 2022 Campo de Canyar Gran	190	299	109	-0,088	239	0,642	0,730	0,357	0,197
GNDVI año 2018 Campo de Catarrotxi	158	287	128	-0,083	207	0,682	0,765	0,403	0,195
GNDVI año 2020 Campo de Catarrotxi	163	303	140	-0,277	220	0,711	0,989	0,393	0,041
GNDVI año 2021 Campo de Catarrotxi	165	315	151	-0,040	215	0,649	0,689	0,366	0,244
GNDVI año 2022 Campo de Catarrotxi	180	310	130	-0,014	222	0,554	0,568	0,299	0,242
GNDVI año 2020 Campo de Canyar Gran	173	298	125	-0,220	231	0,866	1,087	0,524	0,122
GNDVI año 2021 Campo de Canyar Gran	169	299	130	-0,428	229	0,832	1,260	0,356	0,049
GNDVI año 2022 Campo de Canyar Gran	192	309	116	-0,141	242	0,630	0,771	0,358	0,131

Inicio estación (día)	Es el día correlativo del año en el que se inicia la estación
Fin estación (día)	Es el día correlativo del año en el que se acaba la estación
Duración estación (días)	Es la diferencia entre el día de inicio y el de finalización
INDICE base de estación	Nivel base, considerado como la media de los valores mínimos a la izquierda y a la derecha de la curva
Día mitad de estación	Fecha de la mitad de la estación, es la media de las fechas en las que la parte izquierda de la curva ha alcanzado el 80% y la parte derecha de la curva ha disminuido hasta el 80%.
INDICE maximo	Valor máximo del índice ajustado durante la estación
Amplitud del INDICE	Amplitud estacional, es la diferencia entre el valor máximo y el nivel de base
INDICE al inicio estación	Valor del índice en el día de inicio de la estación
INDICE al final estación	Valor del índice en el día de final de la estación

Valores obtenidos para los índices en los polígonos catastrales 47 de Sueca y 57 de Cullera para los años de estudio.

AÑO 2019	ÍNDICE											
	ASTER_SI		EVI		GNDVI		NDSI		NDVI		SAVI	
fecha	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57
Jan 1	0,153	0,162	0,103	0,113	0,206	0,035	-0,134	-0,045	0,15	0,154	0,204	0,172
Jan 6	0,154	0,151	0,097	0,116	0,198	0,021	-0,136	-0,031	0,145	0,148	0,198	0,251
Jan 11	0,155	0,182	0,113	0,137	0,243	0,09	-0,151	-0,069	0,173	0,192	0,239	0,275
Jan 16	0,155	0,184	0,096	0,082	0,204	0,121	-0,145	-0,091	0,15	0,17	0,209	0,36
Jan 21	0,154	0,197	0,11	0,136	0,236	0,283	-0,169	-0,224	0,177	0,24	0,25	0,268
Jan 26	0,158	0,178	0,106	0,13	0,243	0,252	-0,174	-0,193	0,177	0,197	0,253	0,209
feb-05	0,145	0,127	0,099	0,092	0,231	0,23	-0,158	-0,16	0,145	0,15	0,191	0,186
feb-20	0,081	0,113	0,109	0,108	0,254	0,233	-0,161	-0,14	0,155	0,143	0,211	0,173
feb-25	0,087	0,121	0,1	0,087	0,251	0,23	-0,153	-0,124	0,152	0,13	0,208	0,15
mar-12	0,035	0,033	0,074	0,076	0,229	0,229	-0,126	-0,113	0,12	0,112	0,17	0,152
mar-17	0,047	0,033	0,076	0,076	0,233	0,242	-0,122	-0,118	0,119	0,115	0,162	0,144
mar-27	0,047	0,031	0,082	0,085	0,241	0,242	-0,122	-0,112	0,123	0,116	0,164	0,148
Apr 11	0,034	0,024	0,081	0,085	0,241	0,252	-0,126	-0,118	0,12	0,117	0,161	0,232
Apr 26	0,164	0,149	0,066	0,076	0,268	0,285	-0,159	-0,158	0,148	0,151	0,242	0,177
may-01	0,107	0,094	0,075	0,088	0,205	0,237	-0,133	-0,145	0,112	0,131	0,155	0,14
may-06	0,058	0,058	0,074	0,085	0,21	0,226	-0,119	-0,124	0,106	0,113	0,141	0,106
may-11	0,025	0,015	0,063	0,069	0,191	0,206	-0,11	-0,105	0,087	0,088	0,113	0,321
may-26	0,097	0,11	0,065	0,094	0,111	0,19	-0,098	-0,169	0,154	0,2	0,262	0,318
may-31	0,155	0,132	0,089	0,107	0,184	0,213	-0,166	-0,168	0,2	0,204	0,336	0,404
jun-05	0,233	0,229	0,162	0,188	0,27	0,303	-0,266	-0,278	0,283	0,292	0,42	0,362
jun-10	0,142	0,14	0,077	0,121	0,133	0,174	-0,102	-0,171	0,163	0,229	0,266	0,434
jun-15	0,165	0,156	0,099	0,135	0,216	0,253	-0,169	-0,221	0,215	0,274	0,352	0,358
jun-20	0,083	0,146	0,126	0,255	0,08	0,202	-0,134	-0,242	0,137	0,263	0,206	0,996
jun-30	0,279	0,284	0,4	0,554	0,533	0,668	-0,607	-0,751	0,603	0,751	0,858	0,893
jul-05	0,264	0,276	0,462	0,562	0,555	0,631	-0,63	-0,711	0,613	0,699	0,817	1.137
jul-10	0,272	0,318	0,507	0,653	0,622	0,756	-0,696	-0,863	0,687	0,862	0,925	1.163
jul-15	0,321	0,335	0,461	0,646	0,648	0,786	-0,735	-0,886	0,729	0,882	1.048	0,985
jul-20	0,297	0,291	0,491	0,605	0,603	0,676	-0,686	-0,758	0,679	0,752	0,95	1.184
jul-25	0,334	0,336	0,496	0,643	0,717	0,818	-0,795	-0,899	0,791	0,897	1.136	1.172
Aug 4	0,345	0,334	0,527	0,634	0,735	0,803	-0,833	-0,89	0,826	0,885	1.179	1.197
Aug 9	0,348	0,334	0,567	0,661	0,769	0,814	-0,867	-0,902	0,867	0,901	1.237	1,19
Aug 14	0,345	0,332	0,559	0,628	0,746	0,79	-0,853	-0,893	0,846	0,888	1.186	1.053
Aug 19	0,329	0,311	0,557	0,609	0,654	0,674	-0,782	-0,796	0,769	0,784	1,08	1.093
Aug 24	0,344	0,323	0,55	0,579	0,699	0,72	-0,822	-0,828	0,815	0,821	1.124	0,81
sep-18	0,283	0,269	0,41	0,412	0,587	0,595	-0,631	-0,625	0,611	0,605	0,827	0,272
oct-08	0,157	0,152	0,143	0,143	0,366	0,365	-0,264	-0,25	0,222	0,214	0,292	0,188
oct-13	0,166	0,135	0,042	0,13	0,197	0,255	-0,163	-0,195	0,114	0,156	0,205	-0,098
nov-12	0,184	0,115	0,163	0,052	0,38	-0,032	-0,261	0,119	0,249	-0,004	0,325	-0,123
Dec 7	0,228	0,139	0,086	0,023	0,334	-0,099	-0,184	0,138	0,203	-0,036	0,336	0,218
Dec 22	0,097	0,1	0,051	0,1	0,138	0,117	-0,085	-0,127	0,095	0,15	0,149	0,117
Dec 27	0,159	0,14	0,065	0,091	0,203	0,032	-0,083	-0,01	0,135	0,108	0,219	

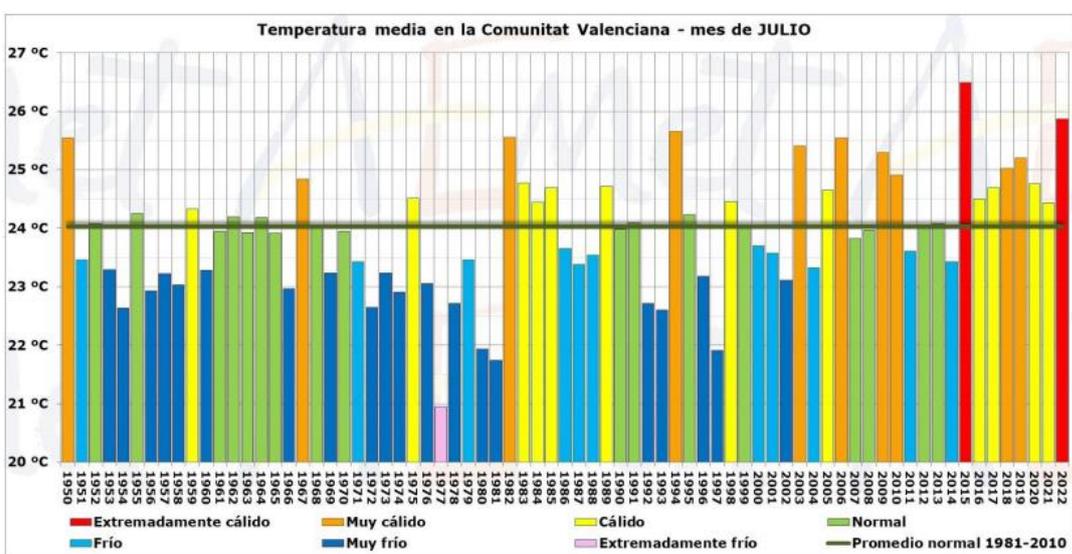
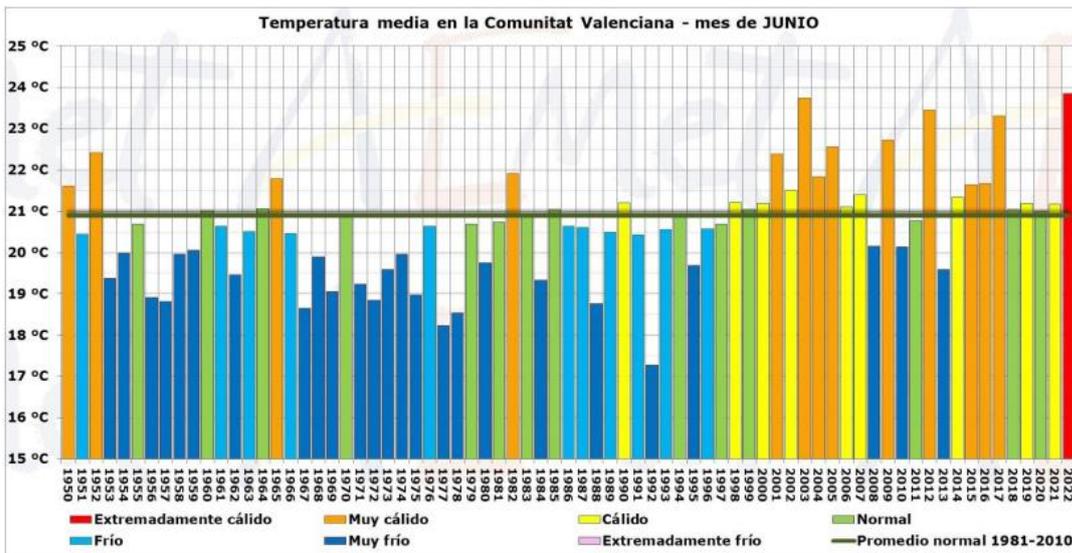
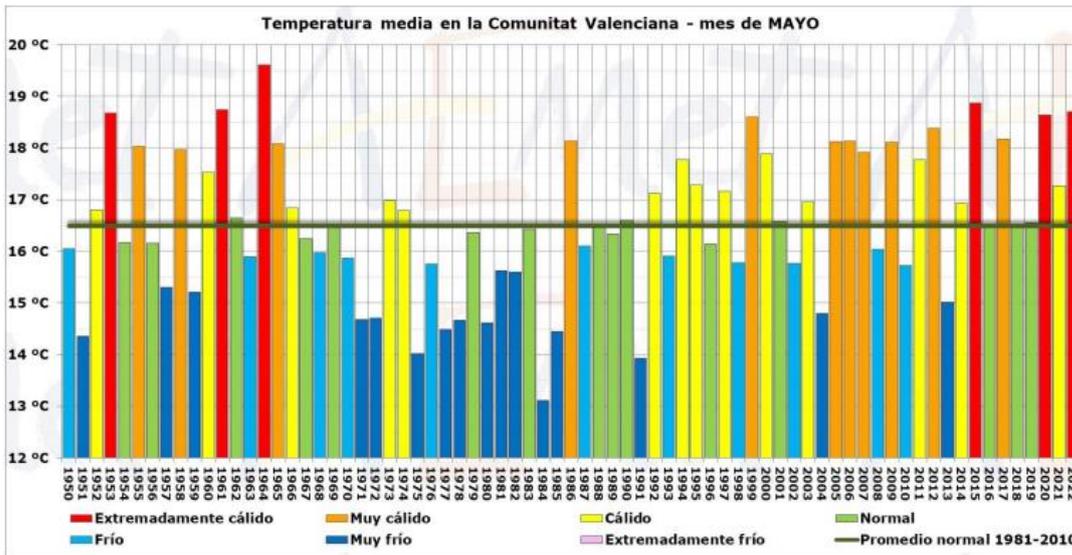
AÑO 2020	ÍNDICE											
	ASTER_SI		EVI		GNDVI		NDSI		NDVI		SAVI	
fecha	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57
Jan 6	0,236	0,172	0,098	0,084	0,24	-0,017	-0,159	0,021	0,168	0,093	0,251	0,093
Jan 11	0,219	0,158	0,096	0,07	0,256	-0,032	-0,165	0,034	0,169	0,063	0,25	0,037
Jan 16	0,202	0,176	0,095	0,09	0,226	0,011	-0,156	-0,013	0,152	0,109	0,218	0,121
Jan 26	0,224	0,197	0,07	0,098	0,232	0,237	-0,128	-0,166	0,143	0,174	0,227	0,26
Jan 31	0,212	0,172	0,089	0,096	0,229	0,222	-0,17	-0,168	0,152	0,153	0,221	0,213
feb-10	0,167	0,149	0,085	0,086	0,183	0,194	-0,145	-0,151	0,127	0,134	0,173	0,185
feb-15	0,157	0,143	0,101	0,097	0,197	0,206	-0,141	-0,144	0,142	0,145	0,191	0,199
feb-20	0,148	0,148	0,112	0,104	0,218	0,227	-0,164	-0,159	0,166	0,162	0,227	0,224
mar-11	0,091	0,047	0,104	0,072	0,235	0,231	-0,158	-0,126	0,142	0,109	0,182	0,144
may-20	0,073	0,035	0,016	0,073	0,1	0,221	0,002	-0,111	0,027	0,097	0,038	0,119
may-30	0,126	0,091	0,087	0,1	0,131	0,161	-0,16	-0,169	0,211	0,218	0,361	0,357
jun-09	0,213	0,241	0,197	0,194	0,316	0,3	-0,365	-0,315	0,375	0,317	0,579	0,451
jun-29	0,306	0,292	0,466	0,505	0,613	0,616	-0,73	-0,725	0,725	0,718	1,058	0,981
jul-04	0,315	0,292	0,579	0,644	0,644	0,649	-0,744	-0,753	0,734	0,744	0,982	0,945
jul-09	0,292	0,231	0,613	0,517	0,624	0,522	-0,71	-0,606	0,696	0,599	0,882	0,801
jul-19	0,365	0,341	0,631	0,636	0,776	0,773	-0,867	-0,868	0,862	0,863	1,159	1,151
jul-24	0,367	0,342	0,647	0,657	0,8	0,787	-0,884	-0,879	0,878	0,874	1,18	1,164
jul-29	0,355	0,277	0,641	0,589	0,743	0,6	-0,83	-0,68	0,82	0,667	1,083	0,859
Aug 8	0,348	0,334	0,634	0,65	0,789	0,804	-0,873	-0,895	0,864	0,89	1,143	1,167
Aug 13	0,36	0,335	0,645	0,647	0,804	0,804	-0,888	-0,895	0,884	0,892	1,187	1,198
Aug 28	0,337	0,298	0,581	0,529	0,694	0,628	-0,8	-0,737	0,787	0,724	1,022	0,972
sep-02	0,305	0,305	0,613	0,524	0,639	0,654	-0,739	-0,754	0,725	0,742	0,903	1,012
sep-12	0,311	0,29	0,508	0,478	0,654	0,628	-0,725	-0,689	0,709	0,673	0,927	0,878
sep-27	0,283	0,247	0,414	0,353	0,615	0,556	-0,611	-0,521	0,605	0,514	0,78	0,656
oct-12	0,171	0,169	0,172	0,16	0,406	0,385	-0,267	-0,222	0,251	0,212	0,31	0,238
oct-17	0,074	0,098	0,085	0,051	0,351	0,331	-0,225	-0,197	0,199	0,18	0,33	0,341
nov-01	0,04	0,152	0,064	0,002	0,307	-0,231	-0,193	0,284	0,163	-0,185	0,281	-0,445
nov-11	0,162	0,111	0,057	-0,056	0,256	-0,275	-0,163	0,355	0,142	-0,253	0,243	-0,517
nov-21	0,148	0,078	0,072	-0,012	0,242	-0,225	-0,17	0,257	0,166	-0,151	0,279	-0,346
Dec 1	0,132	0,115	0,084	-0,028	0,227	-0,284	-0,18	0,329	0,181	-0,217	0,302	-0,476
Dec 6	0,148	0,071	0,024	-0,009	0,133	-0,16	-0,018	0,224	0,064	-0,109	0,112	-0,249
Dec 16	0,152	0,068	0,012	0,026	0,06	-0,1	0,013	0,101	0,033	-0,021	0,058	-0,091
Dec 26	0,126	0,062	0,021	0,021	0,093	-0,183	0,038	0,241	0,045	-0,113	0,073	-0,307

AÑO 2021	ÍNDICE											
	ASTER_SI		EVI		GNDVI		NDSI		NDVI		SAVI	
fecha	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57	POL47	POL57
Jan 5	0,18	0,078	0,092	0,004	0,22	-0,175	-0,133	0,246	0,15	-0,121	0,216	-0,121
feb-19	0,074	0,05	0,066	0,079	0,148	0,226	-0,084	-0,118	0,082	0,116	0,108	0,116
mar-11	0,04	0,027	0,075	0,064	0,217	0,234	-0,138	-0,122	0,12	0,107	0,173	0,107
mar-16	0,048	0,036	0,076	0,071	0,224	0,233	-0,134	-0,113	0,123	0,107	0,175	0,107
mar-21	0,061	0,072	0,085	0,076	0,278	0,3	-0,162	-0,151	0,159	0,152	0,244	0,152
mar-31	0,036	0,022	0,08	0,08	0,223	0,23	-0,131	-0,114	0,122	0,11	0,169	0,11
Apr 5	0,048	0,042	0,076	0,08	0,236	0,246	-0,136	-0,126	0,121	0,115	0,17	0,115
jun-09	0,217	0,17	0,21	0,209	0,268	0,225	-0,353	-0,277	0,354	0,286	0,544	0,286
jun-14	0,179	0,143	0,18	0,134	0,27	0,195	-0,323	-0,226	0,346	0,263	0,528	0,263
jun-24	0,282	0,244	0,34	0,326	0,547	0,496	-0,647	-0,581	0,647	0,587	1,027	0,587
jun-29	0,313	0,292	0,52	0,55	0,664	0,642	-0,772	-0,745	0,768	0,741	1,102	0,741
jul-04	0,333	0,312	0,621	0,623	0,747	0,753	-0,835	-0,846	0,828	0,841	1,083	0,841
jul-09	0,288	0,308	0,874	0,645	0,646	0,668	-0,734	-0,778	0,723	0,774	0,8	0,774
jul-14	0,355	0,336	0,639	0,651	0,784	0,789	-0,874	-0,877	0,873	0,875	1,160	0,875
jul-19	0,363	0,344	0,661	0,675	0,805	0,811	-0,888	-0,898	0,885	0,896	1,174	0,896
jul-24	0,328	0,298	0,615	0,582	0,694	0,673	-0,768	-0,739	0,758	0,73	0,975	0,73
jul-29	0,372	0,346	0,659	0,683	0,818	0,813	-0,895	-0,894	0,89	0,89	1,185	0,89
Aug 13	0,25	0,248	0,627	0,528	0,568	0,611	-0,645	-0,675	0,625	0,661	0,751	0,661
Aug 28	0,338	0,327	0,589	0,606	0,734	0,751	-0,834	-0,849	0,824	0,841	1,104	0,841
sep-02	0,346	0,095	0,591	0,43	0,72	0,45	-0,824	-0,568	0,811	0,502	1,066	0,502
sep-12	0,321	0,317	0,474	0,529	0,658	0,681	-0,724	-0,758	0,704	0,741	0,955	0,741
sep-17	0,309	0,303	0,449	0,521	0,656	0,668	-0,702	-0,733	0,681	0,714	0,932	0,714
oct-02	0,277	0,276	0,415	0,471	0,515	0,509	-0,551	-0,551	0,518	0,522	0,646	0,522
oct-07		0,241		0,342		0,539		-0,509		0,491		0,491
oct-12	0,177	0,209	0,172	0,253	0,378	0,453	-0,283	-0,395	0,258	0,376	0,337	0,376
nov-16	0,168	0,14	0,123	0,062	0,353	0,061	-0,24	0,023	0,219	0,065	0,319	0,065
nov-26	0,18	0,149	0,082	0,031	0,333	-0,038	-0,189	0,13	0,195	-0,028	0,324	-0,028
Dec 1	0,185	0,144	0,076	0,066	0,288	0,064	-0,17	0,007	0,175	0,081	0,287	0,081

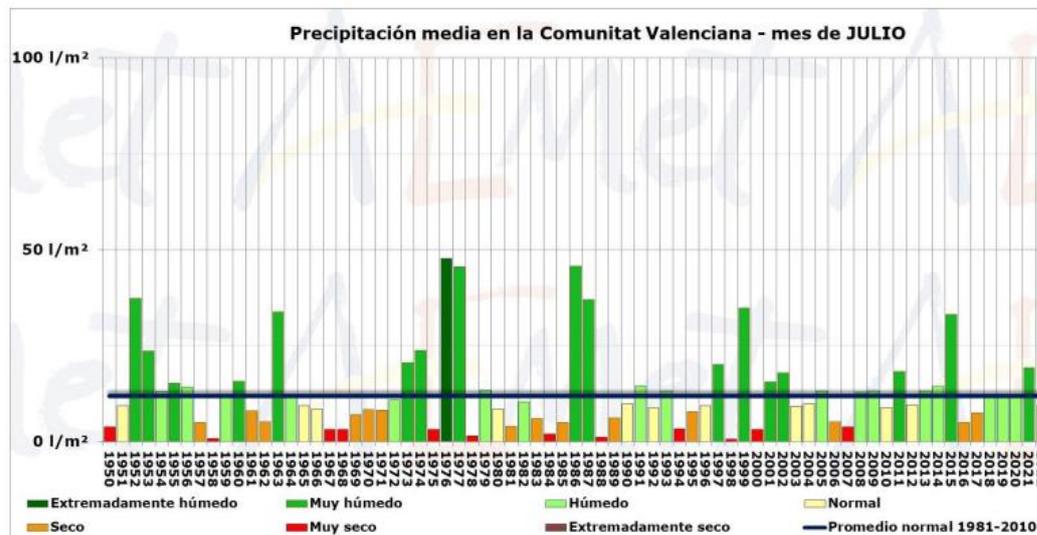
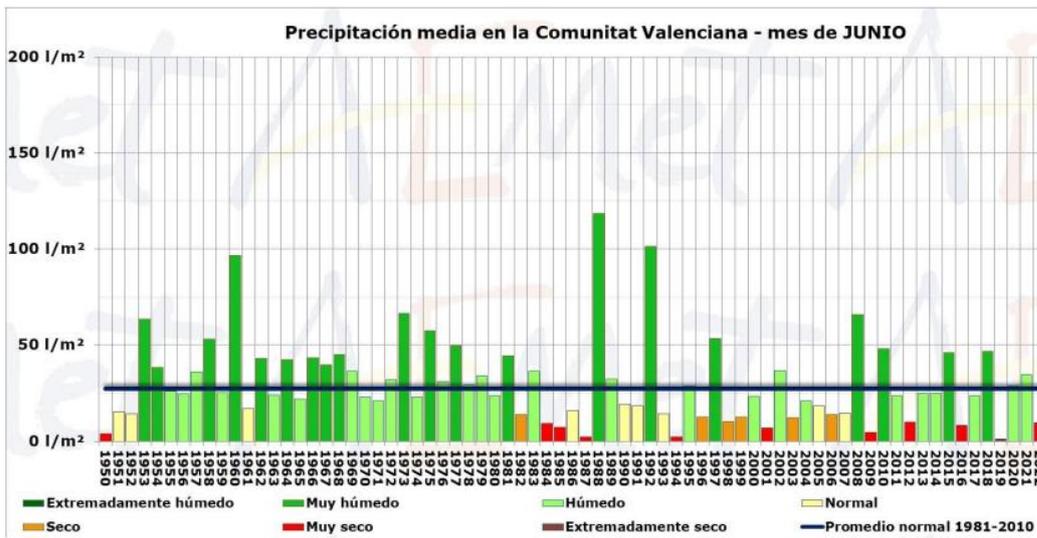
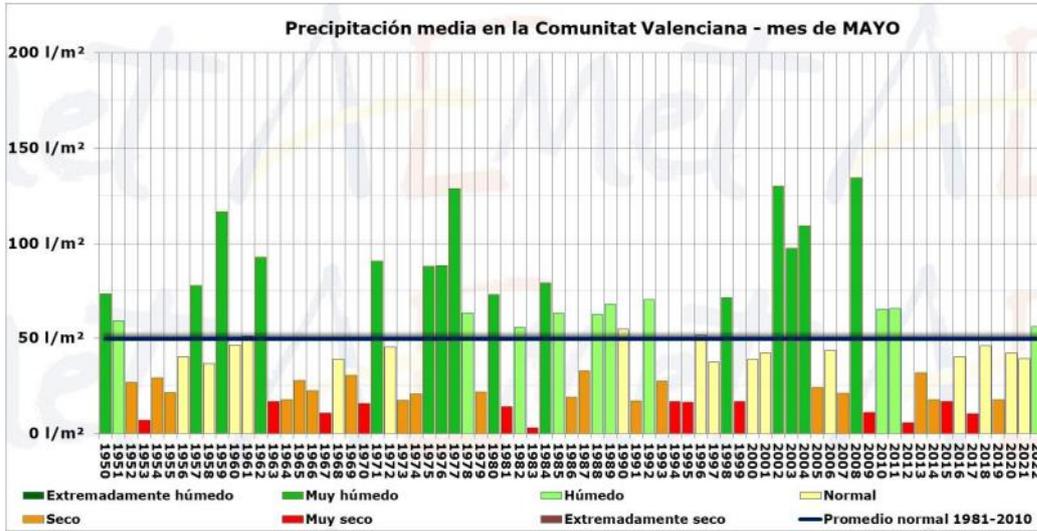
AÑO 2022	ÍNDICE											
	ASTER_SI		EVI		GNDVI		NDSI		NDVI		SAVI	
<i>fecha</i>	<i>POL47</i>	<i>POL57</i>	<i>POL47</i>	<i>POL57</i>	<i>POL47</i>	<i>POL57</i>	<i>POL47</i>	<i>POL57</i>	<i>POL47</i>	<i>POL57</i>	<i>POL47</i>	<i>POL57</i>
Jan 15	0,144	0,172	0,095	0,066	0,195	-0,045	-0,121	0,085	0,131	0,032	0,176	-0,028
Jan 30	0,102	0,11	0,103	0,129	0,149	0,181	-0,091	-0,119	0,104	0,13	0,119	0,146
feb-14	0,104	0,107	0,114	0,115	0,14	0,155	-0,102	-0,101	0,106	0,108	0,117	0,115
mar-01	0,104	0,11	0,119	0,113	0,16	0,16	-0,115	-0,108	0,116	0,113	0,129	0,125
Apr 25	0,125	0,117	0,121	0,157	0,144	0,184	-0,11	-0,142	0,107	0,142	0,119	0,15
may-10	0,124	0,119	0,111	0,158	0,141	0,193	-0,11	-0,155	0,105	0,151	0,118	0,165
jun-04	0,02	0,015	0,061	0,075	0,114	0,141	-0,069	-0,076	0,051	0,062	0,052	0,059
jun-09	0,024	0,028	0,093	0,058	0,056	0,124	-0,076	-0,071	0,1	0,048	0,132	0,046
jun-14	0,034	0,034	0,146	0,12	0,1	0,087	-0,142	-0,111	0,161	0,139	0,209	0,184
jun-19	0,094	0,065	0,189	0,156	0,134	0,12	-0,177	-0,142	0,175	0,149	0,206	0,178
jun-24	0,059	0,133	0,227	0,197	0,156	0,19	-0,198	-0,191	0,218	0,19	0,265	0,22
jun-29	0,08	0,048	0,249	0,164	0,213	0,134	-0,255	-0,148	0,258	0,171	0,32	0,211
jul-09	0,111	0,108	0,338	0,343	0,302	0,288	-0,348	-0,335	0,354	0,348	0,449	0,43
jul-14	0,15	0,144	0,487	0,512	0,407	0,407	-0,455	-0,463	0,45	0,466	0,528	0,537
jul-19	0,166	0,162	0,554	0,577	0,484	0,489	-0,533	-0,543	0,524	0,539	0,597	0,6
jul-24	0,178	0,177	0,651	0,659	0,528	0,52	-0,578	-0,573	0,57	0,568	0,626	0,609
jul-29	0,188	0,186	0,686	0,695	0,546	0,553	-0,608	-0,618	0,592	0,604	0,638	0,645
Aug 3	0,185	0,182	0,71	0,73	0,562	0,569	-0,616	-0,624	0,604	0,616	0,651	0,655
Aug 8	0,19	0,185	0,706	0,721	0,588	0,594	-0,635	-0,644	0,626	0,637	0,668	0,672
Aug 18	0,187	0,179	0,7	0,717	0,586	0,581	-0,633	-0,631	0,625	0,625	0,672	0,665
Aug 23	0,189	0,183	0,685	0,709	0,556	0,574	-0,624	-0,64	0,603	0,623	0,661	0,675
Aug 28	0,162	0,165	0,624	0,695	0,498	0,526	-0,569	-0,593	0,547	0,578	0,6	0,618
sep-07	0,186	0,18	0,655	0,682	0,522	0,542	-0,591	-0,607	0,579	0,599	0,617	0,629
sep-27	0,176	0,178	0,548	0,597	0,484	0,501	-0,516	-0,541	0,506	0,533	0,538	0,552
oct-02	0,177	0,172	0,533	0,566	0,473	0,482	-0,492	-0,506	0,485	0,504	0,506	0,514
nov-01	0,11	0,122	0,156	0,226	0,256	0,296	-0,191	-0,253	0,167	0,233	0,187	0,26
nov-06	0,118	0,125	0,161	0,214	0,262	0,292	-0,18	-0,23	0,171	0,223	0,188	0,246
Dec 16	0,031	0,047	0,049	0,097	0,09	0,109	-0,047	-0,101	0,057	0,116	0,074	0,152

**Gráficos sobre temperaturas medias, precipitaciones medias y precipitaciones acumuladas**

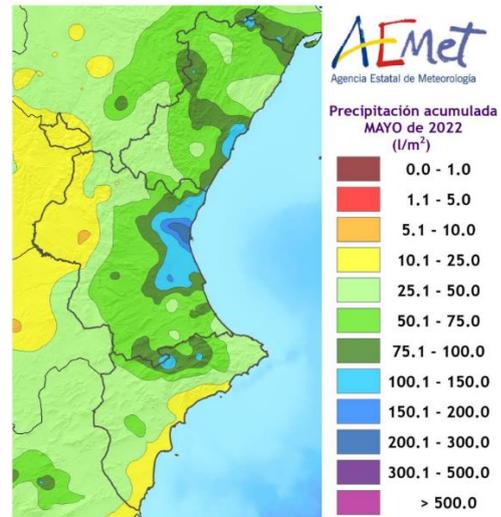
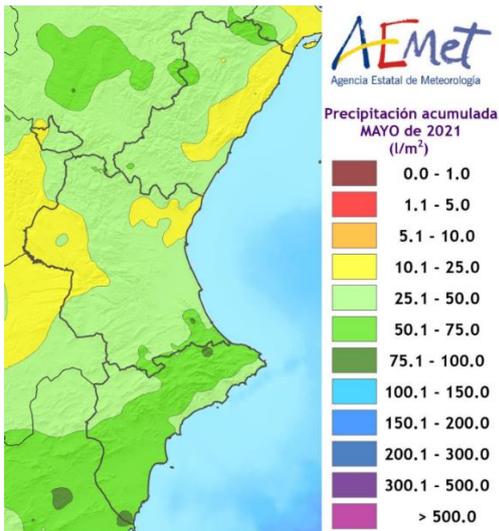
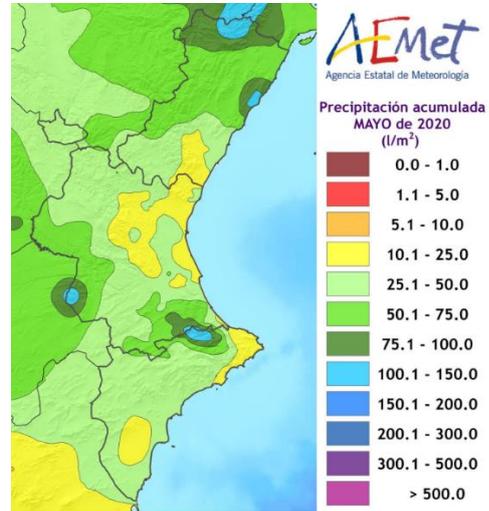
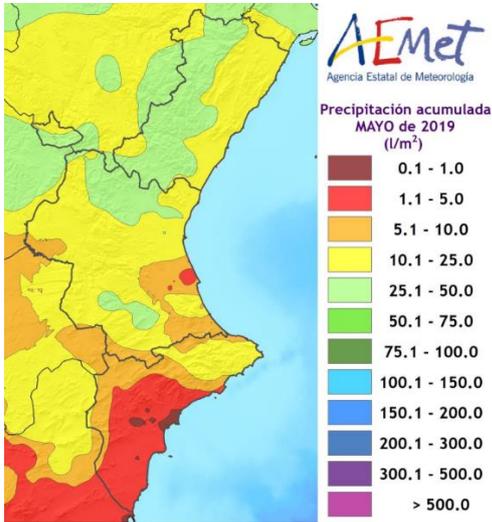
**Temperatura media**



### Precipitación media

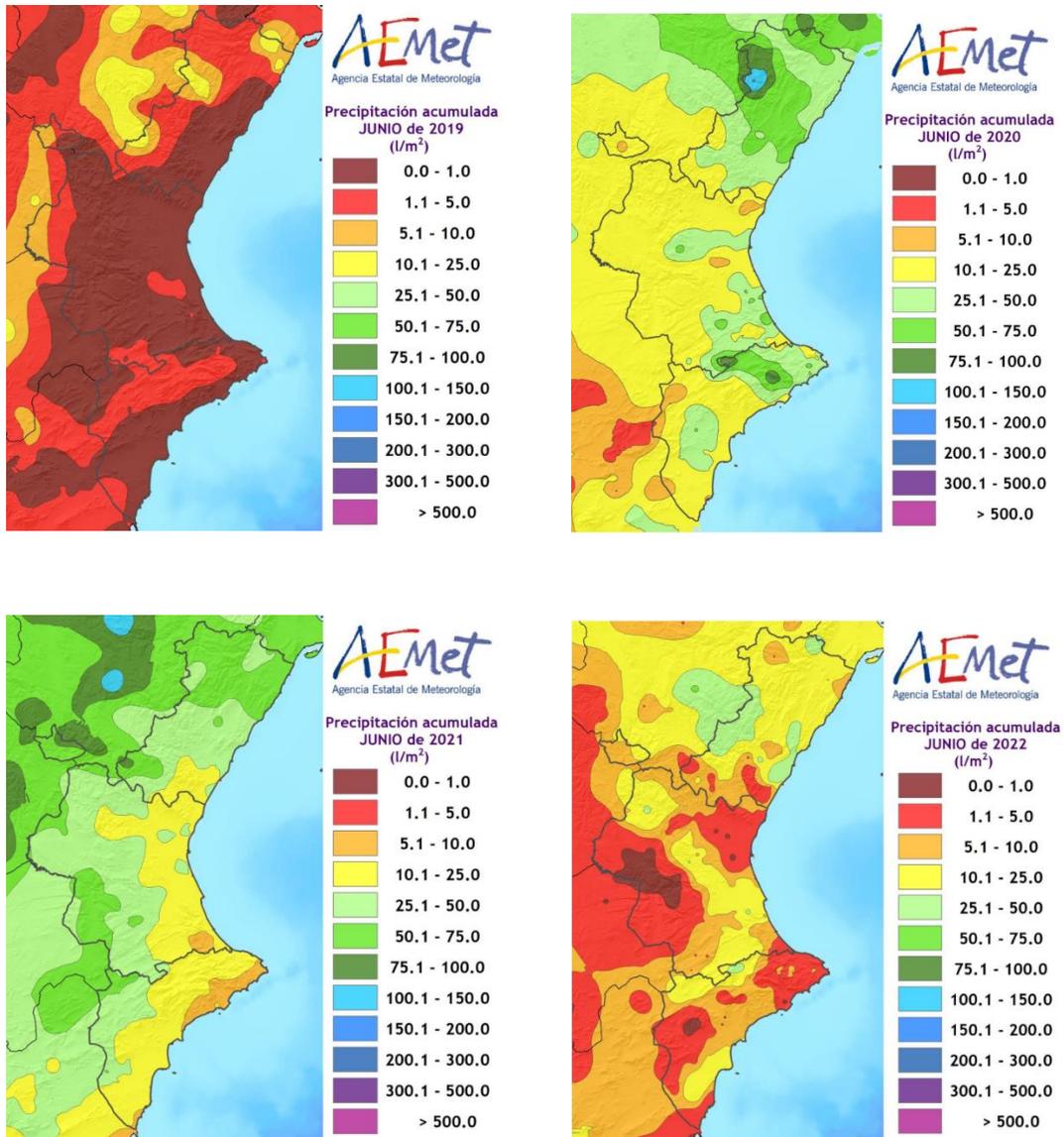


### Precipitación acumulada en Mayo 2019 – 2022

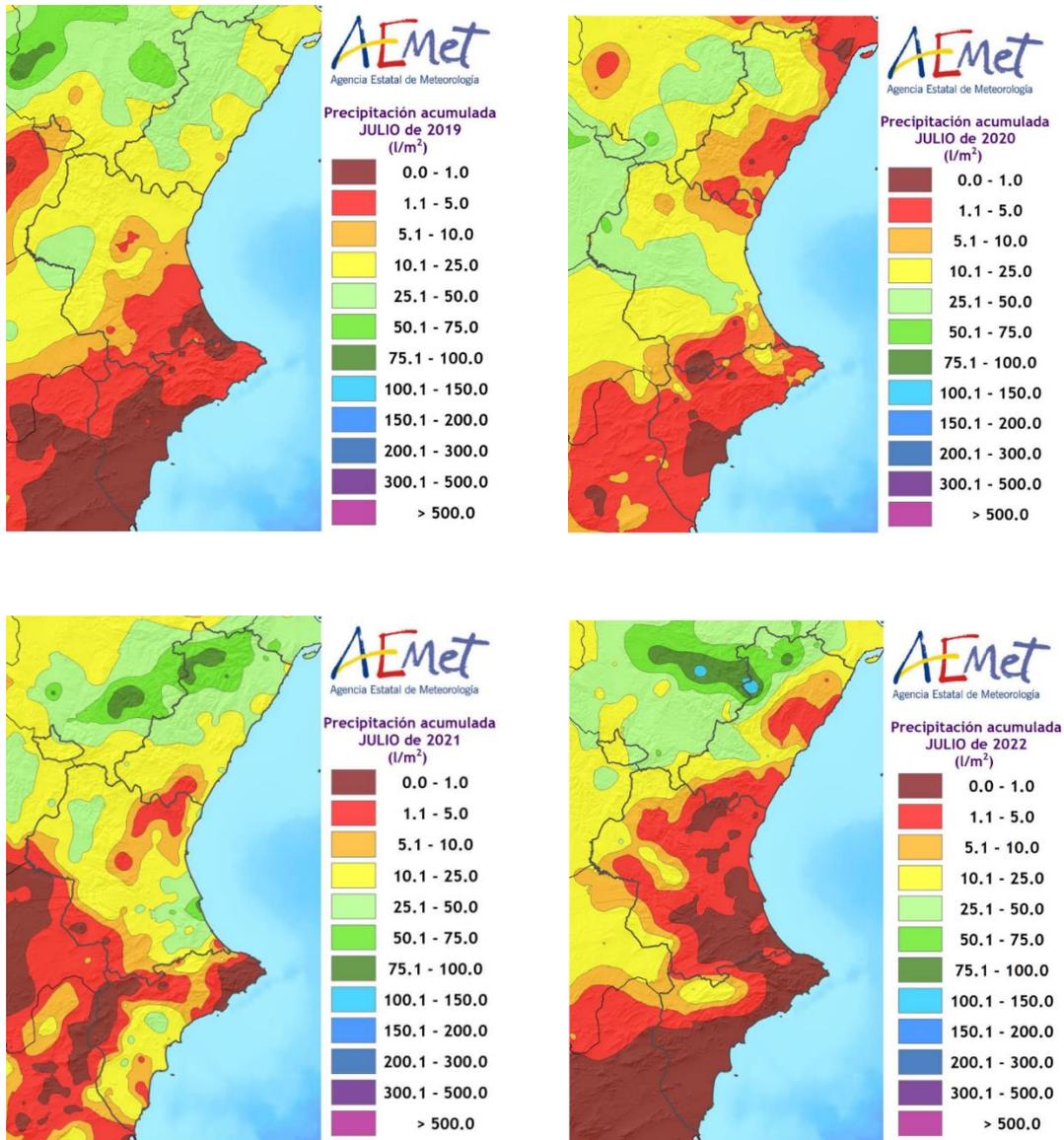




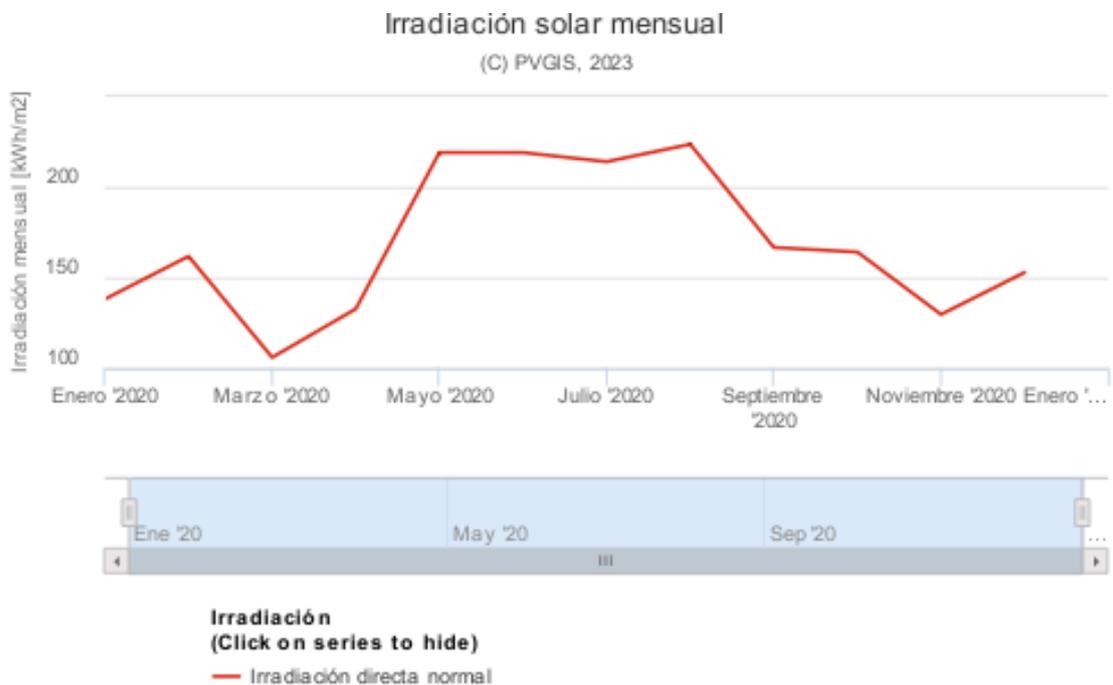
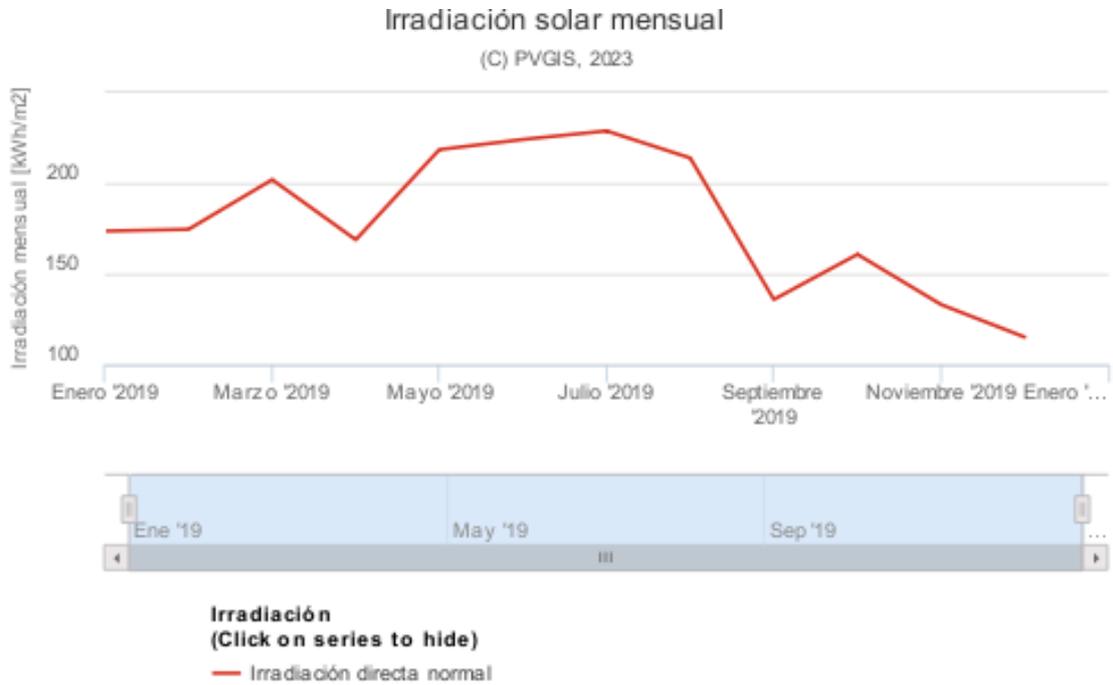
### Precipitación acumulada en Junio 2019 – 2022



### Precipitación acumulada en Julio 2019 – 2022



### Irradiación solar mensual años 2019 y 2020



## Extractos de código

Los ejemplos tratan de un área en concreto, para el resto de zonas seleccionadas, se repitió el proceso.

### Ejemplo de la carga del polígono 47

```
//POLÍGONO 47
var POL47_1 = ee.FeatureCollection('users/acbona/POL47BUF');

//paso previo para poder emplear el método de transformación de proyecciones
var geometry47 = POL47_1.geometry();

// Se define la proyección nueva a la que se realizará la transformación
var newProjection = ee.Projection('EPSG:32630');

// Se define un margen de error
var marginError = 1;

// Para aplicar la transformación a una zona de estudio:
var POL47 = geometry47.transform(newProjection, marginError);

// Comprobación mediante un print de que se ha efectuado adecuadamente
print('Proyección transformada polígono 47:', POL47.projection());
```

Para el resto de las áreas de estudio se repetiría el proceso (sin volver a definir el margen de error y la proyección)

### Ejemplo de la definición del índice 'NDVI' en la función 'addvariables'

```
function addvariables(image) {
  //vegetación
  var NDVI = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']);
  ...
```

```
.addBands(NDVI.rename('NDVI'))
```

Filtro de nube empleado:

```
function maskclouds(image) {  
  var scl = image.select('SCL')  
  
  // donde los números se corresponden a los valores que adquieren las nubes  
  var mask = scl.neq(3).and(scl.neq(8)).and(scl.neq(9)).and(scl.neq(10))  
  
  // aplicación de la mascara  
  return image.updateMask(mask).divide(10000)  
    .select("B.*")  
    .copyProperties(image, ["system:time_start"])  
}
```

Filtrado de la colección de imágenes:

```
//DEFINIR Y FILTRAR LA COLECCIÓN DE IMG  
var COL = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR") //  
  .filterDate('2021-01-01', '2021-12-31') //filtrado de fecha  
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',20)) //filtro nubes  
  .map(maskclouds) //otro filtro nubes  
  .map(addvariables); // se añaden las variables creadas  
  
//filtrar las imágenes de un único huso  
var indiceFinal = 'T30SYJ';  
  
var COL_filtrada = COL.filter(ee.Filter.stringEndsWith('system:index', indiceFinal));
```



Ajuste a un área de estudio:

```
var POL47_rice = COL_filtrada.filterBounds(POL47);
```

## Elaboración de los gráficos individuales

```
var indice_NDVI = 'NDVI';  
var indice_NDVIS = 'NDVI suavizado';  
  
//NDVI, gráfico sin suavizado  
var POL47_NDVI = ui.Chart.image.seriesByRegion({  
  imageCollection: POL47_rice, //probar a cambiar esto  
  regions: POL47,  
  reducer: ee.Reducer.mean(),  
  band: indice_NDVI,  
  scale: 20,  
  xProperty: 'system:time_start',  
  seriesProperty: 'id'  
});  
POL47_NDVI.setChartType('ScatterChart');  
POL47_NDVI.setOptions({  
  title: 'Polígono 47 año 2022 '+ indice_NDVI,  
  vAxis: {  
    title: indice_NDVI,  
  
  },  
  lineWidth: 1,  
  pointSize: 4,  
  colors: ['#6fa84b'],  
  
  interpolateNulls: true,  
});  
print(POL47_NDVI);  
  
//SUAVIZADO
```

*// Se define el tamaño de la ventana, que es un periodo de 20 días en este caso*

*// Se aplica el promedio móvil a cada imagen en la colección*

```
var smoothed = POL47_rice.map(function(image) {
```

```
  // Definir la ventana de tiempo
```

```
  var start = ee.Date(image.get('system:time_start'));
```

```
  var end = start.advance(windowSize, 'day');
```

```
  var filter = ee.Filter.date(start, end);
```

*// Se crean las nuevas bandas y se añaden*

```
  var meanReducer = ee.Reducer.mean().combine({reducer2: ee.Reducer.stdDev(), sharedInputs:  
true});
```

```
  var smoothedImage = POL47_rice.filter(filter).reduce(meanReducer);
```

```
  var NDVI_mean = smoothedImage.select('NDVI_mean');
```

```
  var GNDVI_mean = smoothedImage.select('GNDVI_mean');
```

```
  var EVI_mean = smoothedImage.select('EVI_mean');
```

```
  var NDSI_mean = smoothedImage.select('NDSI_mean');
```

```
  var ASTER_SI_mean = smoothedImage.select('ASTER_SI_mean');
```

```
  var SAVI_mean = smoothedImage.select('SAVI_mean');
```

```
  return smoothedImage.set('system:time_start', start.millis())
```

```
    .reproject({ //reproyección
```

```
      crs: projection,
```

```
      scale: 20
```

```
    })
```

```
    .addBands(NDVI_mean.rename('NDVI suavizado'))
```

```
    .addBands(GNDVI_mean.rename('GNDVI suavizado'))
```

```
    .addBands(EVI_mean.rename('EVI suavizado'))
```

```
    .addBands(NDSI_mean.rename('NDSI suavizado'))
```

```
    .addBands(ASTER_SI_mean.rename('ASTER_SI suavizado'))
```

```
    .addBands(SAVI_mean.rename('SAVI suavizado'));
```



```
});
```

```
print(smoothed);
```

```
// Se traza una serie de tiempo de la banda suavizada
```

```
var POL47_NDVIS = ui.Chart.image.seriesByRegion({
```

```
  imageCollection: smoothed,
```

```
  regions: POL47,
```

```
  reducer: ee.Reducer.mean(),
```

```
  band: indice_NDVIS,
```

```
  scale: 20,
```

```
  xProperty: 'system:time_start',
```

```
  seriesProperty: 'id'
```

```
});
```

```
POL47_NDVIS.setOptions({
```

```
  title: 'Polígono 47 año 2022 ' + indice_NDVIS,
```

```
  vAxis: {
```

```
    title: indice_NDVIS,
```

```
  },
```

```
  colors: ['#6fa84b'],
```

```
  interpolateNulls: true,
```

```
});
```

```
print(POL47_NDVIS);
```

### Ejemplo de gráfico temporal anual de los índices de vegetación y salinidad (en conjunto)

```
var SIV47 =
smoothed.select(['NDVI_mean','GNDVI_mean','EVI_mean','NDSI_mean','ASTER_SI_mean',
'SAVI_mean']);

var chsuav1 = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: SIV47,
  region: POL47,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  scale: 20,
  xProperty: 'system:time_start',
});

chsuav1.setOptions({
  title: 'Serie temporal suavizada de índices de vegetación, polígono 47 ',
  vAxis: {
    title: ''
  },
  colors: ['#e94f53', '#f9d422', '#6fa84b'],
});

print(chsuav1);
```

Ejemplo de obtención de los valores máximos y mínimos en el caso de los campos de cultivo de arroz de Catarrotxi

```
var maxC_NDVI = Catarrotxi_r.select('NDVI')  
  
  .max()  
  
  .reduceRegions({  
    collection: Catarrotxi,  
    reducer: ee.Reducer.max(),  
    scale: 20  
  })  
  
  .select(['max'], ['maxNDVI']);
```

## Generación de cartografiado de los índices de vegetación y salinidad

```
//POLIGONO 47
```

```
var NDVI47 = POL47_rice.select('NDVI');
```

```
var NDVI47C= NDVI47.mean().clip(POL47)
```

```
//EXPORTAR A DRIVE POL 47
```

```
Export.image.toDrive({
```

```
  image: NDVI47C,
```

```
  description: 'P47_NDVI_22_JN',
```

```
  crs: 'EPSG:32630',
```

```
  region: POL47,
```

```
  //crsTransform: projection.transform,
```

```
  scale:20,
```

```
  maxPixels: 1e13
```

```
});
```