



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN GEOMÁTICA Y
TOPOGRAFÍA**

**REALIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA
AGRÍCOLA MEDIANTE ANÁLISIS
MULTITEMPORAL DE IMÁGENES
SATÉLITE Y CARTOGRAFÍA CATASTRAL**

AUTOR: CLAVICILLAS CABALTERA, GLENE

TUTOR: RECIO RECIO, JORGE ABEL

Curso Académico: 2018-19

AGRADECIMIENTOS

“Quiero expresar mi agradecimiento a mi tutor, D. Jorge Recio, por permitirme realizar este trabajo y por toda la ayuda que me ha dado para poderlo llevar a cabo de manera correcta. Gracias, de corazón, a mi pareja por el apoyo que me ha brindado desde el primero hasta el último curso del grado. Ha sido mi pilar fundamental y sin ella, todo hubiera sido más complicado.”

“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”

RESUMEN

El sector agrícola, el cual pertenece al sector primario y está relacionado con la obtención y extracción de materias primas destinadas al consumo, carece de avances tecnológicos que le permiten mejorar tanto la producción como la calidad de los productos obtenidos.

Uno de los factores para tener en cuenta es la evolución del cultivo. El ciclo de crecimiento de los cultivos puede verse afectado por factores climáticos como temperaturas altas o fuertes lluvias, por el uso de fertilizantes y plaguicidas o por la existencia de problemas relacionados con plagas. Esto contribuye a pérdidas en las materias primas y, por tanto, supone también pérdidas de inversión para los agricultores.

La teledetección se utiliza en agricultura con el fin de contribuir a la mejora del uso de los recursos y, por tanto, poder aumentar la productividad. Brinda una alternativa al método tradicional usado en el sector para mejorar el uso de los recursos del terreno. Gracias a esta técnica, se puede monitorizar zonas de cultivo a gran escala y permite capturar información masiva de forma rápida. Con esto se puede conseguir un mejor control en las zonas más críticas, detectar problemas en los cultivos a tiempo y minimizar las pérdidas, ahorrando costes a los agricultores en el riego, en el uso de fertilizantes y plaguicidas, etc.

En este trabajo se realizará una cartografía de las zonas agrícolas del municipio de Alboraya mediante análisis multitemporal de las imágenes del satélite Sentinel-2 en combinación con la información que brinda Catastro de la zona de estudio. Por una parte, se analizará la firma espectral de los cultivos más comunes de las zonas visitadas en función del tiempo y servirán como clasificadores. Por otra parte, se asignará un tipo de cultivo a cada parcela no visitada comparando la firma espectral de cada una con los clasificadores obtenidos. Para terminar, se evaluará la fiabilidad del mapa generado apoyándose en los resultados obtenidos en el análisis.

Palabras clave: Teledetección; Agricultura; Cartografía catastral; Sentinel-2; GvSIG Mobile; ArcGis; SIG; Índice de vegetación

ÍNDICE GENERAL

- I. MEMORIA
- II. PRESUPUESTO ECONÓMICO
- III. ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS DE LA MEMORIA

Figura 1. Elementos básicos de teledetección.	2
Figura 2. Propagación de la radiación electromagnética.	4
Figura 3. Rango del espectro electromagnético.	5
Figura 4. Box and Whisker.	7
Figura 5. La órbita de un satélite geoestacionario.	8
Figura 6. Órbita de un satélite de órbita solar.	8
Figura 7. Sensores pasivo y activo.	9
Figura 8. Resolución espacial de 10 metros de Sentinel-2.	11
Figura 9. Resolución espacial de 20 metros de Sentinel-2.	11
Figura 10. Resolución espacial de 60 metros de Sentinel-2.	11
Figura 11. Curva de respuesta espectral de: agua (clara), vegetación, suelo desnudo.	13
Figura 12. Respuesta espectral de una hoja en distintas longitudes de onda.	14
Figura 13. Situación de Alboraya en la provincia de Valencia.	15
Figura 14. Foto tomada de una parcela con calabaza.	16
Figura 15. Foto tomada de una parcela con cebolla.	16
Figura 16. Foto tomada de una parcela de cebollín.	17
Figura 17. Foto tomada de una parcela de col.	17
Figura 18. Foto tomada de una parcela con patata.	18
Figura 19. Foto tomada de una parcela con chufa.	18
Figura 20. Zona de estudio.	22
Figura 21. Ortofoto recortada desde un SIG.	22
Figura 22. Instalación de Geopaparazzi en gvSIG Desktop.	23
Figura 23. Geopaparazzi y sus funciones.	23
Figura 24. Preparación de la capa para importar a gvSIG Mobile.	24
Figura 25. Ejemplo de la configuración de las teselas para gvSIG Mobile.	24
<i>Figura 26. Capa base, en forma de imagen georreferenciada, importada a GvSIG Mobile.</i>	<i>24</i>
Figura 27. Ejemplo del diseñador de formularios de gvSIG Mobile.	25
Figura 28. Formulario de gvSIG Mobile con la nueva sección creada de cultivos.	25
Figura 29. Interfaz de Sentinel Hub Playground.	26
Figura 30. Interfaz para la descarga de imágenes Sentinel-2.	26
Figura 31. Procedimiento para preparar las imágenes Sentinel-2.	28
Figura 32. Parámetros de remuestreo.	28

Figura 33. Parámetros de conversión de dato.....	29
Figura 34. Parámetros del recorte o Subset.....	29
Figura 35. Imagen remuestreada y recortada visualizada en falso color.	30
Figura 36. Opciones para el cálculo del NDV y GNDVII.....	30
Figura 37. Resultado del NDVI.....	31
Figura 38. NDVI de Alboraya. Mes de marzo.	31
Figura 39. Proceso de análisis de los datos para el diseño de la cartografía.	31
Figura 40. Centrado del punto en GvSIG Mobile	32
Figura 41. Tabla de atributos de la capa importada.	33
Figura 42. Proceso de unión espacial entre tablas de una capa de polígonos y otra capa de puntos.	33
Figura 43. Transferencia de atributos de una capa de polígonos a una capa de puntos.....	34
Figura 44. Parcela con cultivo de patata.	35
Figura 45. Gráfica de la curva temporal de los cultivos. Valores medios de NDVI.	35
Figura 46. Gráfica de la curva temporal de los cultivos. Valores medios de GNDVI.....	35
Figura 47. Valores medios por mes de las parcelas con patata. GNDVI.	36
Figura 48. Resultado de Boxplot usando valores medios de GNDVI de las parcelas con patata.	36
Figura 49. Valores medios por mes de las parcelas con patata.	37
Figura 50. Precisiones de NDVI y GNDVI sin depurar.....	37
Figura 51. Zonas no cultivadas.	40
Figura 52. Curva temporal de los cultivos. NDVI.....	41
Figura 53. Curva temporal de los cultivos.....	42

ÍNDICE DE TABLAS DE LA MEMORIA

Tabla 1. Resolución espectral de Sentinel-2A y 2B.	10
Tabla 2. Resultado de la estadística zonal.....	34
Tabla 3. Matriz de confusión de NDVI.....	38
Tabla 4. Matriz de confusión de GNDVI.	38
Tabla 5. Comparativa de las fiabilidades de productor y usuario.....	39
Tabla 6. Valores estadísticos de las clases.	39
Tabla 7. Valores de la estadística zonal. NDVI.	41
Tabla 8. Valores medios de GNDVI de los cultivos por mes.....	42
Tabla 9. Duración en horas de cada tarea realizada.	51
Tabla 10. Costes de personal.	51
Tabla 11. Costes directos	52
Tabla 12. Costes indirectos	53

I. MEMORIA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	1
1.2	MOTIVACIÓN.....	1
2.	TELEDETECCIÓN	2
2.1	FORMAS DE ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	2
2.2	APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN EN AGRICULTURA	3
3.	SATÉLITES	4
3.1	FUNDAMENTO TEÓRICO	4
3.1.1	LONGITUD DE ONDA Y FRECUENCIA.....	4
3.1.2	ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	5
3.1.3	TIPOS DE ONDA	5
3.2	ESTADÍSTICA	6
3.2.1	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON	6
3.2.2	VARIANZA.....	7
3.2.3	BOX AND WHISKER.....	7
3.3	TIPOS DE SATÉLITE DE TELEDETECCIÓN	8
3.3.1	SATÉLITES GEOESTACIONARIOS	8
3.3.2	SATÉLITES DE ÓRBITA SOLAR	8
3.4	SENSORES.....	9
3.4.1	CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES	9
3.5	MISIÓN DEL SENTINEL-2.....	9
3.5.1	RESOLUCIONES SENTINEL-2	10
	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA	10
	RESOLUCIÓN ESPECTRAL.....	10
	RESOLUCIÓN ESPACIAL	10
	RESOLUCIÓN TEMPORAL.....	11
3.5.2	PRODUCTOS Y ALGORITMOS DE SENTINEL-2.....	12
4.	FIRMAS ESPECTRALES.....	13
4.1	ÍNDICES DE VEGETACIÓN	13
5.	ZONA DE ESTUDIO.....	15
5.1	HISTORIA	15
5.2	LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.....	15
5.3	CULTIVOS SEGÚN LA ESTACIÓN DEL AÑO.....	16

6.	SOFTWARE UTILIZADO	19
6.1	GvSIG	19
6.2	ARCMAP	19
6.3	SENTINEL HUB PLAYGROUND	20
6.4	SNAP DESKTOP	20
6.5	MICROSOFT OFFICE.....	20
6.6	MATLAB R2017A	20
7.	DATOS DE PARTIDA	21
7.1	CAPAS VECTORIALES	21
7.2	CAPAS RASTER.....	21
7.3	IMÁGENES DE SENTINEL-2	21
8.	METODOLOGÍA.....	22
8.1	PREPARACIÓN DE LAS CAPAS VECTORIALES PARA LA TOMA DE DATOS.....	22
8.2	PREPARACIÓN DE LA APLICACION PARA LA TOMA DE DATOS	22
8.2.1	CREACIÓN DE TESELAS Y FORMULARIOS CON GEOPAPARAZZI	22
8.3	PREPARACIÓN DE LAS IMÁGENES SENTINEL-2 PARA EL ANÁLISIS.....	26
8.3.1	SENTINEL HUB PLAYGROUND	26
8.3.2	DESCARGA DE IMÁGENES SENTINEL-2.....	26
8.3.3	REMUESTREO DE LAS IMÁGENES SENTINEL-2	27
8.4	ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	27
8.4.1	OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES Y CLASIFICACIÓN.....	27
8.4.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CREACIÓN DEL MAPA	27
9.	DESARROLLO DEL PROYECTO	28
9.1	REMUESTREO Y RECORTE DE LAS IMÁGENES SENTINEL-2	28
9.2	CÁLCULO DEL NDVI Y DEL GNDVI	30
9.3	TOMA DE DATOS EN CAMPO	31
9.4	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS EN ARCMAP	33
	Unión espacial	33
	Estadística zonal	34
9.5	CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS	36
9.6	CLASIFICACIÓN DE LAS PARCELAS NO VISITADAS.....	39
10.	RESULTADOS	41
10.1	CARTOGRAFÍA	42
11.	CONCLUSIONES	43

12. LÍNEAS FUTURAS	44
REFERENCIAS.....	45



1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como objetivo principal realizar una cartografía de los cultivos existentes durante los meses de marzo a julio de 2019 en las parcelas rústicas del término municipal de Alboraya llevando a cabo un análisis multitemporal de las imágenes proporcionadas por el satélite Sentinel-2, y en combinación con la cartografía catastral existente, realizar comprobaciones a nivel de subparcela.

El primer paso será el trabajo en campo que consistirá en realizar visitas a las subparcelas de entrenamiento con el fin de identificar los cultivos actuales y este proceso se repetirá para identificar los nuevos cultivos que pudieran existir más adelante. Se usará un sistema de información geográfica (SIG) para dispositivos móviles para facilitar y agilizar el registro de la información de cada parcela.

Por otro lado, se procederá a la obtención de las imágenes proporcionadas por Sentinel-2 para poder realizar el análisis multitemporal de cada tipo de cultivo existente en las subparcelas visitadas a lo largo del tiempo mediante el uso de los índices de vegetación. Con ello, se obtendrán las firmas espectrales de cada cultivo y servirán como descriptores para identificar los cultivos en las parcelas no visitadas.

Por lo tanto, para llevar a cabo la consecución del objetivo principal se llevarán a cabo los siguientes subobjetivos:

- Identificar cultivos existentes. Visitar la zona de estudio.
- Registrar información de cada cultivo mediante el uso de SIG para dispositivos móviles.
- Obtener imágenes a través de la página oficial de Sentinel-2 y realizar análisis de la respuesta espectral de cada cultivo calculando el índice de vegetación mediante un SIG.
- Obtener descriptores de cada tipo de cultivo.
- Identificar los cultivos en el resto de las parcelas con el uso de los descriptores de cada cultivo.
- Evaluar la fiabilidad de la clasificación mediante una matriz de confusión.

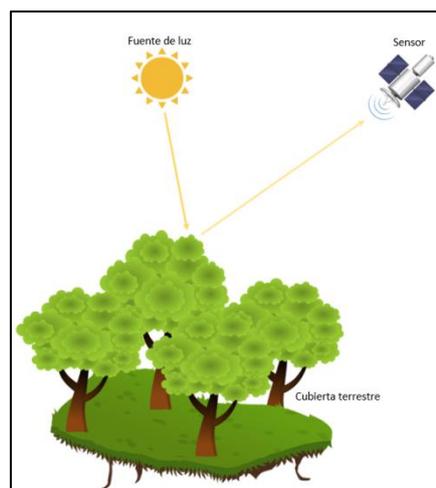
1.2 MOTIVACIÓN

La motivación principal para realizar este Trabajo de Fin de Grado en el Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría se debe a que muchas líneas de investigación en este departamento están relacionadas con la cartografía y fotogrametría. Para mí resulta gratificante aprender los procedimientos que se siguen a la hora de realizar una cartografía de clasificación de los elementos de un lugar en concreto, para así poder hacer uso de ellos en otras ocasiones.

2. TELEDETECCIÓN

La teledetección es la técnica que permite adquirir información de un objeto situado en el terreno mediante el uso de sensores integrados en plataformas como son satélites, aviones o drones sin la necesidad de tener contacto directo con el objeto a estudiar.

La forma de adquirir esa información se hace a través de observaciones remotas y para ello diferentes elementos tienen que interactuar entre sí. Tal y como se puede observar en la *figura 1*, el **sensor** se encarga de recibir la información, normalmente en forma de luz, emitida por un **objeto** que se encuentra en la superficie terrestre. La información que se transmite al sensor proviene de un **objeto**, un fenómeno situado en la cubierta terrestre – o también puede ser el terreno – del cual queremos obtener la información. Dicha información se transmite al sensor en forma de luz que proviene de una fuente que puede ser natural, por ejemplo, el sol, o artificial como son los satélites. La **fuerza de luz** se encarga de iluminar al objeto para que el sensor pueda captar la información. La energía que libera un objeto cualquiera se denomina radiación electromagnética y se propaga a través de un medio en formas de ondas. Esta propagación se llama flujo de energía y es la señal que llega al sensor para poder ser registrado. Dicho esto, se han introducido los elementos principales de cualquier sistema de teledetección (Ambiental 2016).



*Figura 1. Elementos básicos de teledetección.
Fuente: Elaboración propia*

A continuación, se introducen las diferentes formas de adquisición de la información en teledetección.

2.1 FORMAS DE ADQUISICIÓN DE LA INFORMACIÓN

- **Por reflexión:** la luz que emite el sol, como fuente principal, ilumina la superficie terrestre y ésta cuando incide con un objeto es reflejada hacia el sensor. La información que llega al satélite se transmite posteriormente a las estaciones receptoras ubicadas en la superficie terrestre para su tratamiento.
- **Por emisión:** algunos objetos, o incluso seres vivos, emiten radiación y es captada por el sensor. La temperatura emitida se puede detectar en la banda del infrarrojo térmico, donde este tipo de radiación se manifiesta con mayor energía.
- **Por emisión-reflexión:** se trata de una radiación artificial, emitida por el propio observador (por ejemplo, un satélite), y es reflejado al objeto situado en la superficie terrestre y la



radiación vuelve a ser reflejada al sensor. El RADAR sería un ejemplo esta forma de adquisición de datos.

2.2 APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN EN AGRICULTURA

Una de las aplicaciones de la teledetección en agricultura es la monitorización de la evolución del cultivo. Esta técnica facilita la creación de cartografía, la cual sirve como apoyo en la gestión y optimización de los recursos utilizados en las zonas agrícolas y también permite hacer frente a los problemas que se pueden presentar, a lo largo del ciclo fenológico del cultivo, como la aparición de posibles zonas con plagas, áreas con necesidad de riego, etc.

A continuación, se explican con más detalle algunas aplicaciones de teledetección aplicada a la agricultura:

- **Control del estado del cultivo:** la teledetección ofrece la posibilidad de obtener información acerca del crecimiento del cultivo gracias a que los satélites presentan una alta resolución temporal. Un cultivo cualquiera tendrá diferente respuesta espectral a lo largo de su ciclo fenológico. Esto permite identificarlos y cuantificar cuánta superficie ocupa cada tipo de cultivo.

Por otro lado, también puede sufrir enfermedades como la existencia de hongos y/o plagas o puede decaer debido a la deficiencia de nutrientes, ya sea del suelo o de la propia planta o por un estrés hídrico. Estos problemas podrían solventarse a tiempo mediante el uso de la teledetección, pues se podría analizar la respuesta espectral de las zonas deseadas y localizar aquellas con vegetación estresada.

- **Identificación de los cultivos:** se hace mediante análisis de respuesta espectral utilizando imágenes en diferentes fechas de diferentes cultivos con el fin de identificarlos y clasificarlos. La teledetección, en combinación con un trabajo en campo previo, permite crear una cartografía fiable de los tipos de cultivo existentes en una zona de estudio. Este trabajo de fin de grado se centrará en llevar a cabo esta idea.
- **Agricultura de precisión:** requiere de un sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), sensores, imagen y un sistema de información geográfica (SIG) para llevar a cabo tareas como, por ejemplo, la estimación de las variables que sufren los cultivos durante su ciclo fenológico.

3. SATÉLITES

3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

El flujo de energía entre el sensor y la superficie terrestre constituye una forma de radiación electromagnética. Teniendo en cuenta la teoría ondulatoria, la energía se transfiere de un lugar a otro siguiendo un modelo armónico y continuo, a la velocidad de la luz, y conteniendo dos campos de fuerzas ortogonales entre sí, eléctrico y magnético (de Lira 2004, p. 11, 12).

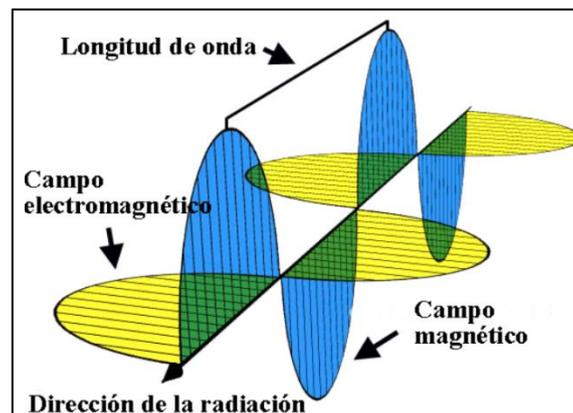


Figura 2. Propagación de la radiación electromagnética.

Fuente: https://www.ecured.cu/Longitud_de_onda#/media/File:Longitud_de_onda.gif

Las características del flujo de energía vienen descritas por la longitud de onda, que se simboliza con la letra griega λ y la frecuencia, cuyo símbolo es la letra f .

3.1.1 LONGITUD DE ONDA Y FRECUENCIA

En física, la **longitud de onda** es la distancia que recorre una perturbación de ondas periódicas que se propaga por un medio, o en el vacío, en un intervalo de tiempo determinado. Normalmente, la distancia de la onda se mide entre los máximos consecutivos de la perturbación como se puede ver en la *figura 2*. En ecuaciones, se suele utilizar la letra griega λ (lambda) para representar la longitud de onda y se suele expresar en unidades de longitud (normalmente en metros).

La frecuencia es la magnitud que se utiliza para medir el número de repeticiones de un fenómeno. Su unidad es el Hercio, en honor a Heinrich Rudolf Hertz.

Según la teoría, la propagación de la luz en el vacío es igual al producto de la frecuencia y la longitud de onda

$$c = f * \lambda \quad (1)$$

A partir de esta ecuación, se puede deducir la fórmula de la longitud de onda.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Según la *fórmula (2)*, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda, y al revés. Es decir, a medida que la frecuencia de una onda electromagnética aumenta, su longitud de onda disminuye y viceversa.

Las radiaciones electromagnéticas se clasifican según su longitud de onda y frecuencia y existen distintos tipos que se comentarán en otro apartado del proyecto.

3.1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Se entiende por **espectro electromagnético** a la clasificación de las ondas electromagnéticas que existen. Se extienden desde las bajas frecuencias, extremo de ondas largas, hasta los rayos gamma, extremo de ondas cortas. Distintos elementos del universo emiten o absorben distintas radiaciones, y, por tanto, surge el concepto del espectro para establecer una serie de bandas en las cuales las longitudes de onda y las frecuencias se comportan de manera similar.

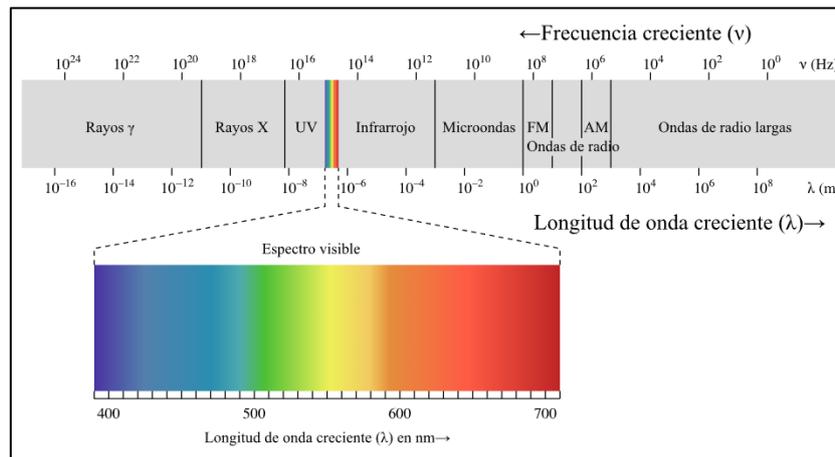


Figura 3. Rango del espectro electromagnético.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Ondas_de_radio#/media/File:EM_spectrum_es.svg

3.1.3 TIPOS DE ONDA

- **Ondas de radio:** son un tipo de radiación electromagnética. Son utilizadas para transportar información a largas distancias, aproximadamente hasta 100 kilómetros, y pertenecen a la radiación con menor energía del espectro electromagnético. Se propagan en las frecuencias entre los 10^6 Hz y 10^8 Hz que equivalen a 10^2 m y 10^0 m en longitud de onda. Las aplicaciones de este tipo de onda se pueden encontrar en las comunicaciones como son la radio, y también en los radares y satélites de comunicación, entre otros. (“Ondas de radio”, 2016)
- **Microondas:** esta radiación electromagnética oscila con una longitud de onda entre 10^{-1} m y 10^{-4} m , que equivale a una frecuencia entre 10^9 Hz y 10^{12} Hz . Son utilizadas para las comunicaciones a plataformas utilizadas para la exploración espacial por su facilidad a la hora de atravesar la atmósfera terrestre.
- **Infrarrojo:** es un tipo de radiación electromagnética, de menor longitud de onda que microondas. Su frecuencia está entre 10^{12} Hz y 10^{14} Hz . En teledetección, se suele utilizar longitudes de onda del infrarrojo porque es útil para distinguir la radiación que emiten distintos objetos de la superficie terrestres, como son el suelo y la vegetación. A su vez, los infrarrojos se pueden clasificar en tres tipos según su longitud de onda:
 - Infrarrojo cercano: de 800 nanómetros a 2500 nanómetros
 - Infrarrojo medio: de 2.5 micrómetros a 50 micrómetros
 - Infrarrojo lejano: de 50 micrómetros a 1000 micrómetros
- **Espectro visible:** es el espectro de radiación electromagnética que el ojo humano sería capaz de percibir. Su longitud de onda varía entre los 400 nanómetros y 700



nanómetros. Dentro del espectro visible los diferentes colores primarios poseen longitudes de onda diferentes, por eso, los objetos se pueden percibir con diferentes tonalidades. Las longitudes de los principales colores son: (Pino, s.f.)

- Rojo: de 625 nanómetro a 740 nanómetro
- Verde: de 520 nanómetro a 565 nanómetro
- Azul: de 435 nanómetro a 500 nanómetro
- **Ultravioleta:** los rayos ultravioleta emiten radiaciones en longitud de onda en torno a los 400 nanómetros hasta 15 nanómetros. Su nombre está asociado al tipo de color que esta onda emite y también porque comienza detrás del espectro visible que un ojo humano puede percibir como violeta. El sol emite rayos ultravioleta, que, aunque no todos los rayos llegan a la superficie terrestre puesto que son absorbidos por la atmósfera, pueden causar daños a las personas (por ejemplo, cáncer de piel) por lo que nos obliga a llevar cierta protección antes este tipo de radiación. Las aplicaciones de estos rayos son muy diversas. Se utilizan para detectar fluidos que un ojo humano sería capaz de detectar a simple vista, o para la esterilización por su capacidad de matar virus y bacterias, etc. (Pérez Porto & Merino, s.f.)
- **Rayos X:** este tipo de radiación electromagnética, invisible para el ojo humano, es capaz de atravesar cuerpos opacos, por ejemplo, el cuerpo humano. Su longitud de onda varía entre 10 nanómetros y 0.1 nanómetros que corresponde a frecuencias más altas que los rayos ultravioleta.
- **Rayos gamma:** los rayos gamma son el producto de los elementos radioactivos o procesos como la aniquilación de partículas. Su longitud de onda es inferior a 10^{-11} m, lo que equivale a frecuencias de 10^{19} Hz. Su uso más común se encuentra en medicina utilizada para eliminar bacterias y también para la esterilización de los instrumentos de medicina. (Pérez Porto & Merino, s.f.)

3.2 ESTADÍSTICA

3.2.1 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON

En estadística, el coeficiente de correlación de Pearson es un valor cuyo intervalo está comprendido entre $[-1,1]$ y se utiliza para determinar la dependencia de dos variables cuantitativas. En otras palabras, es un índice que determina el grado de relación entre dos variables teniendo en cuenta que ambas tienen que ser cuantitativas y continuas. La correlación facilita la estimación del valor de una de las variables siempre y cuando se conozca el valor de la otra variable. (Wolfram MathWorld, s.f.)

La fórmula matemática del coeficiente de correlación de Pearson es:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3)$$

Donde:

σ_{XY} indica de covarianza de las variables XY

σ_X indica la desviación estándar de la variable Z

σ_Y indica la desviación estándar de la variable Y

Su dimensión indica el grado de correlación entre las variables:

Si $\rho_{X,Y} < 0$ se dice que hay correlación negativa. Esto es se da cuando el valor de una variable aumenta mientras que el de la otra variable disminuye.

Si $\rho_{X,Y} > 0$ se dice que hay una correlación positiva entre las variables y cuánto más próximo sea a 1 el valor, la correlación es más fuerte entre ellas.

Si $\rho_{X,Y} = 0$ se dice que no existe ninguna correlación lineal entre las variables

Si $\rho_{X,Y} = 1$ se dice que la correlación es positiva perfecta y determina una dependencia total entre las variables.

Si $\rho_{X,Y} = -1$ se dice que existe una relación inversa entre las dos variables.

3.2.2 VARIANZA

En teoría de probabilidad, la varianza es una forma de medir la dispersión de los datos respecto a la media aritmética.

Su fórmula es la siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (4)$$

Interpretando la *fórmula 4*, la varianza es el sumatorio, desde el primer elemento hasta el elemento N, del cuadrado de cada uno de los elementos menos la media aritmética de los mismos dividido por el número total de elementos.

En este trabajo se obtendrá la varianza de cada una de las subparcelas no visitadas a partir de los valores medios de la serie temporal de GNDVI. Es decir, se usarán los valores medios de GNDVI por mes de cada una de las subparcelas para obtener la varianza. Aquellas parcelas con una varianza muy próxima a cero se les asignará la clase "SIN CLASIFICAR" ya que, al no haber variación a lo largo del tiempo, se puede estimar que dichas subparcelas no albergan ningún cultivo de las clases definidas.

3.2.3 BOX AND WHISKER

El Box and Whisker, también conocido como diagrama de caja, pertenece a las herramientas de la estadística descriptiva y es una representación sencilla, en forma de gráfica, de un conjunto de datos a través de sus cuartiles. La interpretación de un diagrama de caja es sencilla (Ver *figura 4*).

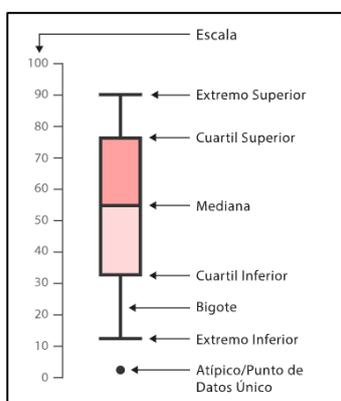


Figura 4. Box and Whisker

La disposición de los datos se agrupa en cuartiles que dividen los datos en cuatro partes iguales. El límite inferior de la caja indica el cuartil 25 (Q1), es decir, el 25% de los datos tienen ese valor o menor que este y el límite inferior de la caja indica el cuartil 75 (Q3) que indica que el 75% de los datos es menor o igual que ese valor. La situación de la mediana (Q2) indica de simetría de los datos. Si se encuentra en medio de la caja significa que los datos son simétricos. El rango intercuartil (RIC) se calcula restando Q3 con Q1.

Las líneas que salen de los cuartiles 25 y 75 se llaman "bigotes" y se extienden hasta el valor máximo y mínimo de los valores que se consideran "buenos" o hasta 1.5 veces el rango intercuartil.

Fuente:

<https://datavizcatalogue.com/ES/metodos/diagrama-cajas-y-bigotes.html>
Genè Clavillas

Cuando un dato se extiende más allá de los bigotes significa que es un valor atípico. Se consideran valores atípicos los valores inferiores a $Q1 - 1.5 \cdot RIC$ o superiores a $Q3 + 1.5 \cdot RIC$. (ROMERO VILLAFRANCA, R. [et al] (2003).

3.3 TIPOS DE SATÉLITE DE TELEDETECCIÓN

3.3.1 SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

También llamados **geosíncronos**, por su órbita, son satélites que permanecen inmóviles (observados desde la superficie terrestre) sobre un punto fijo de la superficie y siempre están observando la misma porción del terreno debido a que la velocidad angular de estos es la misma que la velocidad rotacional de la Tierra. La órbita es la trayectoria que sigue los satélites a través del espacio bajo la influencia de las fuerzas de atracción. Los satélites geoestacionarios son ecuatoriales o cuasiecuatoriales y normalmente están en torno a los 35.000 km de altura orbital. Poseen baja resolución espacial, pero debido a su alta resolución temporal, estos satélites se usan en los temas meteorológicos. Por ejemplo, METEOSAT utiliza satélites de este tipo.

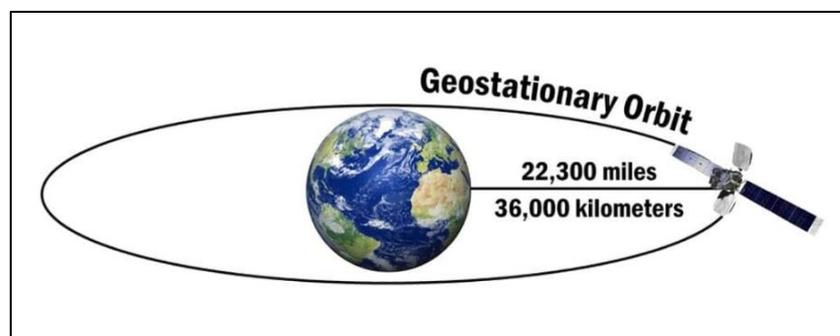


Figura 5. La órbita de un satélite geoestacionario.

Fuente: <http://misistemasolar.com/satelites-geoestacionarios/>

3.3.2 SATÉLITES DE ÓRBITA SOLAR

Son llamados **heliosíncronos**, se caracterizan por tener una órbita de norte a sur y el satélite pasa por un mismo punto de la superficie terrestre a la misma hora solar local. Se consiguen condiciones de iluminación similares a las de una estación específica durante diferentes tiempos por lo que permite monitorizar cambios entre diferentes imágenes sin necesidad de hacer correcciones de iluminación. Gracias a la órbita que sigue y por la propia rotación de la Tierra, se consigue cubrir una mayor parte de la superficie terrestre durante un periodo de tiempo. Normalmente se encuentran a una altitud de 600 y 800 km.

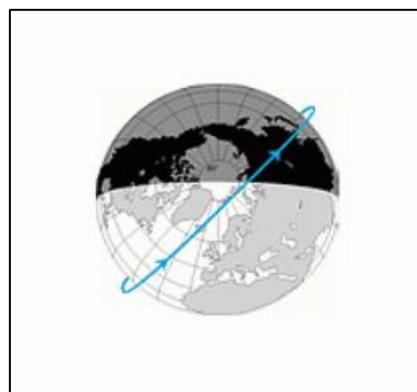


Figura 6. Órbita de un satélite de órbita solar.

3.4 SENSORES

3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

- **Pasivos:** los sensores pasivos se limitan a recoger la radiación electromagnética procedente de la superficie terrestre o bien cuando la energía procedente del sol es reflejada al sensor o por la emisión de radiación producida por el propio objeto debido a su temperatura. Debido a esto, el uso está limitado para trabajar de día para aprovechar la luz de sol.
- **Activos:** a diferencia de los sensores pasivos, los sensores activos poseen su propia fuente de luz por lo que pueden trabajar tanto de día como de noche. Por ejemplo, los radares. Estos sensores emiten activamente radiaciones hacia los objetos donde reflejan y esta información es captada por el sensor instalado en el satélite ("Passive vs Active Sensors in Remote Sensing", 2016).

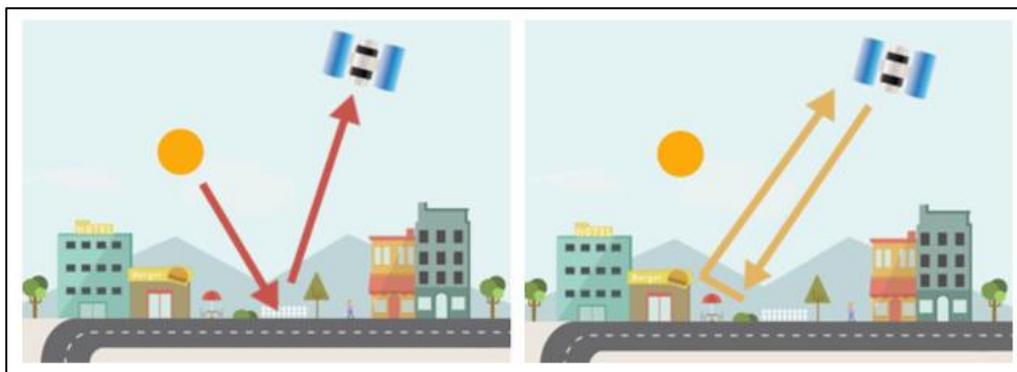


Figura 7. Sensores pasivo y activo.

Fuente: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/>

3.5 MISIÓN DEL SENTINEL-2

El satélite Sentinel-2 forma parte de la misión de observación terrestre desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) dentro del programa Copérnico. Cualquier usuario interesado puede acceder de forma libre a la información que proporciona el satélite. Entre los objetivos del programa Copérnico; están la mejora de la gestión y conservación del medio ambiente, asegurar la seguridad civil, entre otros. En cuanto al objetivo relacionado con la vegetación, Sentinel-2 puede proporcionar imágenes de las zonas agrícolas para fines como el seguimiento de la evolución del cultivo. Dado que la revisita es, aproximadamente, cada semana, es capaz de hacer monitoreos en esas zonas para ayudar en la toma de decisiones.

La misión consta de dos satélites idénticos, Sentinel-2A lanzado el 23 de junio de 2015 y Sentinel-2B lanzado el 7 de marzo de 2017, que orbitan con 180° de separación para obtener una cobertura terrestre cada cinco días aproximadamente. Con esto, se consigue obtener datos óptimos de la superficie terrestre y aguas costeras ofreciendo la continuidad de la información espacial.

Sentinel-2 opera a una altitud de 786 kilómetros y mantiene la misma inclinación, 98.62 grados, lo cual permite cubrir una zona de 290 kilómetros (ESA 2000).

3.5.1 RESOLUCIONES SENTINEL-2

RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA

Hace referencia a los niveles digitales que un sensor puede registrar al captar variaciones en el nivel de radiancia recibida, ya sea una reflectancia o intensidad de luz. Cuanto mayor sea el número de niveles mayor será la resolución radiométrica y por tanto el detalle de la imagen registrada por el sensor será más precisa. La energía recogida por el sensor se procesa utilizando el sistema binario. Por ejemplo, un procesador de 8 bits admite un rango de 2^8 valores numéricos, o lo que es lo mismo, valores entre 0 y 255.

En caso del Sentinel-2, este satélite tiene una resolución radiométrica de 13 bits (2^{12}), bandas desde el espectro visible e infrarrojo cercano hasta las ondas cortas de infrarrojo, por lo que puede registrar niveles de brillo en un rango de 0 hasta 4095 (4096 valores distintos).

RESOLUCIÓN ESPECTRAL

Los sensores están diseñados para captar información en determinados rangos de longitudes de onda llamados comúnmente **bandas** o **canales**. Un sensor tiene resolución espectral alta cuanto mayor sea su número de bandas.

Spatial Resolution (m)	Band Number	S2A		S2B	
		Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)
10	2	496.6	98	492.1	98
	3	560.0	45	559	46
	4	664.5	38	665	39
	8	835.1	145	833	133
20	5	703.9	19	703.8	20
	6	740.2	18	739.1	18
	7	782.5	28	779.7	28
	8a	864.8	33	864	32
	11	1613.7	143	1610.4	141
	12	2202.4	242	2185.7	238
60	1	443.9	27	442.3	45
	9	945.0	26	943.2	27
	10	1373.5	75	1376.9	76

Tabla 1. Resolución espectral de Sentinel-2A y 2B.

Fuente («Sentinel-2 - Missions - Resolution and Swath - Sentinel Handbook»)

En total, los satélites Sentinel-2 cuentan con 13 bandas las cuales permiten obtener más información de la superficie terrestre.

RESOLUCIÓN ESPACIAL

La resolución espacial se refiere a la unidad mínima visible en una imagen o el tamaño del objeto capaz de registrar el sensor. Esa unidad mínima se denomina píxel. Cuánto menor es el área terrestre representado por un píxel mayor será la resolución espacial.

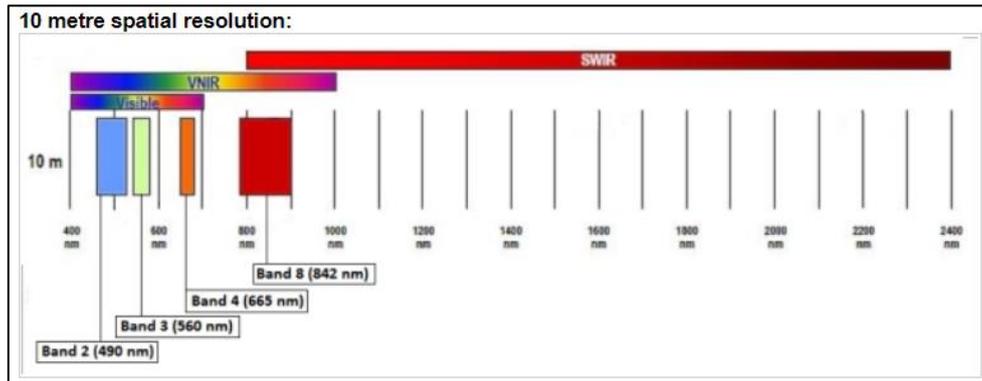


Figura 8. Resolución espacial de 10 metros de Sentinel-2.

Fuente: («Spatial - Resolutions - Sentinel-2 MSI»)

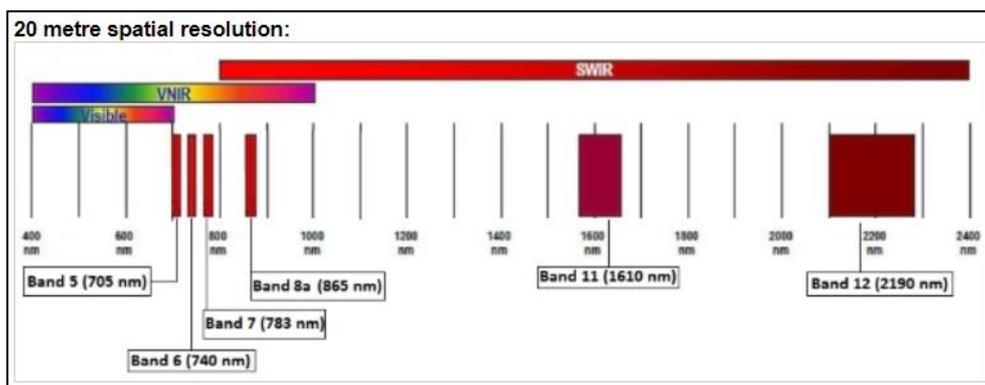


Figura 9. Resolución espacial de 20 metros de Sentinel-2.

Fuente: («Spatial - Resolutions - Sentinel-2 MSI»)

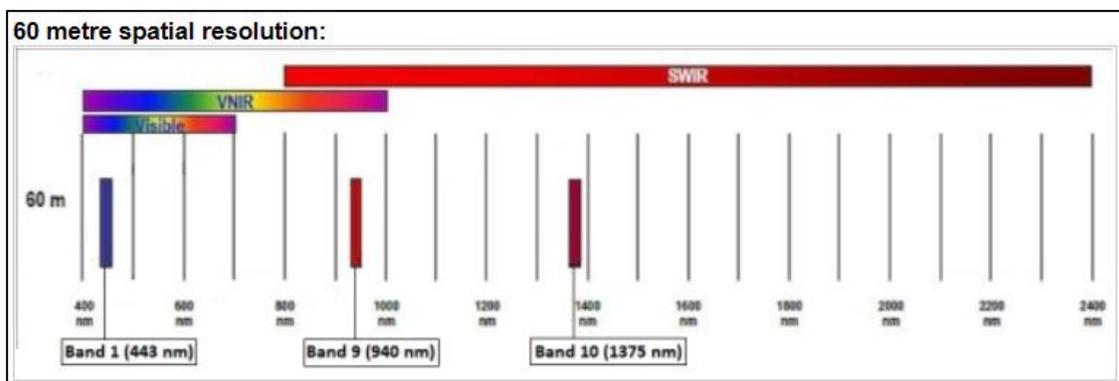


Figura 10. Resolución espacial de 60 metros de Sentinel-2.

Fuente: («Spatial - Resolutions - Sentinel-2 MSI»)

RESOLUCIÓN TEMPORAL

La resolución temporal es la frecuencia temporal de obtención de imágenes de una misma porción terrestre. Es decir, es la cantidad de veces que un satélite hace una revisita en el mismo punto de la superficie. Cuanto mayor sea el número de revisita mayor será la resolución temporal. Sentinel-2 tiene una alta resolución temporal por lo que es muy útil para el monitoreo de fenómenos que cambian rápidamente respecto con el tiempo como, por ejemplo, el crecimiento del cultivo.

Los dos satélites Sentinel-2 tienen completan la órbita en diez días por lo que se puede conseguir imágenes de un punto de la superficie cada cinco días



3.5.2 PRODUCTOS Y ALGORITMOS DE SENTINEL-2

Los productos disponibles de Sentinel-2 se muestran a continuación:

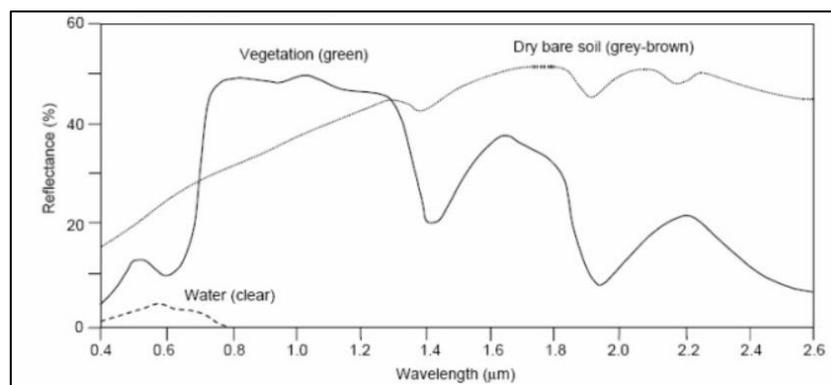
- **Nivel-0:** los datos en bruto pertenecen a este nivel. Los productos de este nivel se usan para generar la información para los niveles superiores.
- **Nivel-1A:** son datos brutos sin comprimir. Datos auxiliares son adjuntados en este nivel.
- **Nivel-1B:** los datos de radiancia están corregidos radiométricamente. El modelo geométrico físico se refina usando los puntos de control disponibles y son añadidos al producto, pero no se aplica.
- **Nivel-1C:** proporciona una reflectancia *Top-Of-Atmosphere* ortorectificada (TOA), con registro espectral de subpíxeles. En este nivel se incluyen las máscaras de nubes y tierra/agua.
- **Nivel-2A:** proporciona una reflectancia *Bottom-Of-Atmosphere* ortorectificada (BOA), con registro multiespectral de subpíxeles. El producto es generado por el usuario usando las cajas de herramientas (*Toolbox*) de Sentinel-2 e incluye un mapa de clasificación de diferentes escenas (nubes, sombras de nubes, vegetación, tipos de suelo, agua, nieve, etc.) (ESA).

4. FIRMAS ESPECTRALES

Como ya se introdujo, la teledetección se utiliza para estudiar la radiación que emite o refleja un objeto cualquiera de la superficie. Para identificar cualquier objeto es preciso conocer su comportamiento en cada rango del espectro electromagnético puesto que, como ya es sabido, la respuesta espectral de cada objeto varía según el canal o banda electromagnética. Esta información es útil para identificar la firma espectral de cada tipo de cobertura (vegetación, suelo, agua, etc.) y utilizarla como base en la identificación posterior. Dicho esto, la **firma espectral** es la curva que representa la reflectividad de cada tipo de cobertura en función de la longitud de onda de la luz que refleja un objeto.

Sin embargo, la definición de firma espectral no siempre es viable, pues los objetos están sujetos a cambios fenológicos a lo largo de un tiempo y la firma de los objetos puede variar según, por ejemplo, el tipo de árbol o el tipo de cultivo no son similares para diferentes zonas. No obstante, es posible definir un cierto patrón para definir una zona cubierta o no por vegetación, el estado del suelo (seco o mojado), etc.

En la *figura 11* se muestran tres patrones genéricos de respuesta espectral de los materiales comunes de la cubierta terrestre en las bandas del espectro visible y cercano al infrarrojo cercano.



*Figura 11. Curva de respuesta espectral de: agua (clara), vegetación, suelo desnudo.
Fuente (Farooq 2017)*

La respuesta espectral depende de factores como la orientación del sol, la dirección en la que apunta el sensor en relación con el nadir (ángulo de observación), el tipo de relieve (bajas o altas pendientes), el estado de salud de la vegetación (es importante, en el caso de este trabajo), y la atmósfera. (Aligarh Muslim University. Department of Geology, s.f.)

4.1 ÍNDICES DE VEGETACIÓN

El NDVI (*en español, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada*) es el resultado de realizar operaciones mediante el uso de las bandas electromagnéticas, en concreto de las bandas del infrarrojo cercano y la banda del rojo. Gracias al NDVI, se puede realizar una clasificación fiable de los elementos de la superficie terrestre (suelo desnudo, vigorosidad de la vegetación, zonas con agua, edificios, etc.). Además, el NDVI permite estimar la calidad del cultivo y calcular la vigorosidad de este en una fecha concreta. Conocer esta información tiene un peso enorme puesto que ayuda a la toma de decisiones y así diseñar una estrategia de protección en un futuro.

La fórmula de NDVI es la siguiente:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (5)$$

Donde NIR es la banda del infrarrojo cercano y RED es la banda del rojo

La fórmula adaptada a las bandas del Sentinel-2 sería:

$$NDVI = \frac{banda_8 - banda_4}{banda_8 + banda_4} \quad (6)$$

El resultado de la fórmula es un número adimensional y está normalizado entre el intervalo -1 y 1 donde los valores cercanos a 1 significan una elevada presencia de vegetación, los valores cercanos a 0 es equivalente a la ausencia de vegetación, normalmente se trata de suelos desnudos y, por último, los valores cercanos a -1 indica la presencia de elementos atmosféricos como nubes, nieve o la presencia de agua.

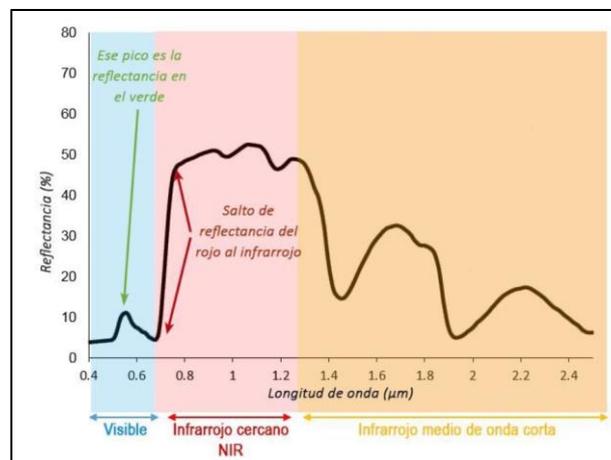


Figura 12. Respuesta espectral de una hoja en distintas longitudes de onda.

Fuente: https://www.agromatica.es/wp-content/uploads/2017/11/NDVI_reflectancias_espectro_etiquetas.jpg

En la parte del espectro visible, la vegetación muestra una absorción alta debido a la presencia de la clorofila. Las moléculas de la clorofila absorben más cantidad de luz roja y azul pero menos cantidad de la luz verde lo que significa que habrá más cantidad de verde que se refleja. En la banda del infrarrojo cercano la absorción de la energía del espectro visible es poca y gran cantidad se refleja por lo que se puede observar un salto de reflectancia del rojo al infrarrojo. (Ver figura 11). Es por ello por lo que es útil utilizar la banda del infrarrojo cercano para separar superficies con vegetación de las que no tienen. ("Estructura de la hoja, 2016).

El GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) es muy parecido conceptualmente a NDVI. Los valores que se obtiene también oscilan entre [-1 y 1] y fundamentalmente se utiliza en la etapa intermedia y final del cultivo.

La fórmula del GNDVI es la siguiente:

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR +} \quad (7)$$

La fórmula adaptada a las bandas del Sentinel-2 sería:

$$GNDVI = \frac{banda_8 - banda_2}{banda_8 + banda_2} \quad (8)$$

5. ZONA DE ESTUDIO

5.1 HISTORIA

Alboraya es un municipio de la provincia de Valencia ubicado en la comarca de L'Horta Nord el cual se encuentra a pocos kilómetros de la ciudad de Valencia. Hasta el momento, conserva su carácter agrícola y muchas de sus costumbres tradicionales. El terreno sobre el que se asienta Alboraya se creó durante el cuaternario debido a los materiales fluviales que arrastraban el río Turia y los barrancos de Torrente y Carraixet, cuyos últimos kilómetros cruzan el término municipal ("Puerto fenicio en el barranco del Carraixet (los orígenes)", s.f.).

Según el historiador Martínez Aloy, Alboraya hace referencia al término árabe al-buraïġ, que significa "torrecita". Gaspar Escolano, corroboró esa teoría y justificó que es debido a las torres que existían por la huerta. Hasta el momento, Alboraya conserva la toponimia arábiga de algunos espacios como el propio nombre del municipio, Albalat (el camino), Mauella (barraca), Massamardà (establecimiento de los Mardà), etc. No obstante, hay constancias también de que los romanos vivieron en el lugar puesto que se han identificado restos de inscripciones romanas, que habían sustituido la cultura ibérica, en l'Horta Nord (En Paterna, Carpesa, Godella, Moncada, El Puig de Santa María o Puzol).

5.2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La zona de estudio se ubica en el término municipal de Alboraya. Está situada en la comarca de l'Horta Nord de la provincia de Valencia y cuenta con una superficie de 8.3 km^2 aproximadamente. El municipio es conocido principalmente por su horchata, una bebida preparada con chufa y otros ingredientes el azúcar o canela para potenciar su sabor único, por lo que, se podrá detectar muchas áreas agrícolas de este cultivo. Otros tipos de cultivo comunes que se pueden encontrar son la cebolla, patata o col, las cuales también se usarán para definir las tipologías de cultivo.

Alboraya conserva amplias zonas de huerta y la mayoría de ellas son de regadío por inundación.



Figura 13. Situación de Alboraya en la provincia de Valencia.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Alboraya#/media/Archivo:Valencia-loc.svg>

5.3 CULTIVOS SEGÚN LA ESTACIÓN DEL AÑO

Desde hace mucho tiempo los cultivos más comunes en Alboraya son de regadío gracias a las acequias existentes que facilitan y ayudan a que el agua fluvial llegue a las zonas agrícolas. Los cultivos dominantes son hortalizas como la patata, la col o la cebolla pudiéndose alternar con sandías, calabazas, tomates y chufas en temporada de verano.

Calabaza

La calabaza "*Cucurbita maxima Duchesnse*" es una planta anual cuyo fruto, de forma variable y de cáscara dura, puede tener diferentes aspectos según la variedad. La siembra se suele realizar en mayo y la forma de plantarla es ir dejando 2 metros de separación entre plantas y la recolección se hace normalmente desde septiembre a noviembre. La duración del cultivo desde la siembra hasta la recolección es de 3 a 5 meses.



Figura 14. Foto tomada de una parcela con calabaza.

Fuente: imagen propia

Cebolla

La cebolla "*Allium cepa L.*" es una planta cuyo bulbo se aprovecha para el consumo. Sus hojas son alargadas y de color verde. La siembra se realiza de enero a marzo repartiendo las semillas en surcos de poca profundidad, con una distancia de unos 20 cm entre semillas. La duración del cultivo desde la siembra hasta la recolección es de 6 a 8 meses.



Figura 15. Foto tomada de una parcela con cebolla.

Fuente: imagen propia.

Cebollín

El cebollín "*Allium schoenoprasum*" es un cultivo cuyas hojas, huecas y tubulares, se aprovechan como hierba aromática. Su bulbo es parecido al de la cebolla, pero a diferencia de esta, no es comestible. El requisito de este cultivo es una ubicación soleada y suelos húmedos por lo que en Alboraya se puede, pues reúne los requisitos para su desarrollo.



Figura 16. Foto tomada de una parcela de cebollín.

Fuente: imagen propia

Col

La col "*Brassica oleracea var. capitata*" es una planta que se cultiva de forma bianual cuyas hojas se solapan y constituyen cogollos de hojas apretadas que forman la parte comestible del cultivo. El color de la hoja puede ser de color verde o rojizo. La recolección se puede hacer en otoño-invierno, por lo que la siembra se haría entre mayo y octubre, y en primavera-verano, la siembra se realizaría entre los meses de enero y marzo. En el mediterráneo es muy habitual ver el ciclo de recolección entre octubre y diciembre. La duración del cultivo es entre 3 y 5 meses. Para la variedad de primavera-verano, la recolección tiene lugar entre mayo y julio.



Figura 17. Foto tomada de una parcela de col.

Fuente: Imagen propia

Patata

La patata "*Solanum tuberosum*" es una planta de cultivo anual. Sus tallos subterráneos dan lugar a los tubérculos los cuales son los que se aprovechan para el consumo de este cultivo. La temporada de siembra se puede realizar durante todo el año, aunque es muy común verla durante la primavera. La duración del cultivo desde la siembra hasta la recolección es de 3 a 5 meses aproximadamente. La cosecha se hace cuando las hojas empiezan a marchitarse y secarse. La patata es un producto básico de la alimentación actual y es una fuente importante de hidratos de carbono.



Figura 18. Foto tomada de una parcela con patata.

Fuente: Imagen propia

Chufa

La chufa "*Cyperus esculentus*" es el cultivo más emblemático de Alboraya. Es uno de los municipios de L'Horta Nord que cultiva chufa y el mayor productor de este cultivo en comparación con otros municipios de la comarca y es por ello, es muy reconocido por esta planta y por el producto derivado de ella, que es la horchata. La chufa es una planta de hojas largas y de color verde pero lo que se aprovecha para el consumo es el tubérculo de color marrón en la parte exterior y blanco en su interior. La siembra se realiza en mayo y la duración del cultivo entre la siembra hasta la recolección es de 4 a 5 meses. Requiere mucha cantidad de agua por lo que Alboraya es un sitio adecuado para su desarrollo. Es una planta típica de verano por lo que se puede ver mucha plantación de chufa en esta temporada.



Figura 19. Foto tomada de una parcela con chufa.

Fuente: Imagen propia



6. SOFTWARE UTILIZADO

Para la toma de datos en campo se ha utilizado *GvSIG Mobile*, desarrollado por la asociación de *gvSIG*. Esta aplicación se puede usar en modo *offline* (no necesita tener internet para trabajar en campo), lo que ha facilitado la toma de datos de los cultivos en la zona de entrenamiento sin la necesidad de gastar datos móviles.

6.1 GvSIG

GvSIG es un proyecto de desarrollo de software para sistemas de información geográfica implementado en *Java* y *Python* e impulsado inicialmente por el gobierno regional de la Comunidad Valenciana, de ahí su nombre *Generalitat Valenciana Sistema de Información Geográfica*. Está sujeto bajo la Licencia Pública General de GNU, por lo que los usuarios interesados en este software podrán usar, compartir o modificar el software. El primer producto lanzado fue un SIG para ordenadores, conocido como *gvSIG Desktop*, pero a lo largo del tiempo se han ido sumando productos para otras plataformas como *gvSIG Mobile* para hacer levantamiento utilizando un teléfono móvil o *gvSIG Online* que permite compartir información geográfica en la nube.

- ***GvSIG Mobile* (versión 0.2.1) y *GvSIG Desktop* (versión 2.4.0):** *GvSIG Mobile* se ha usado para registrar la información sobre cada una de las parcelas visitadas como, por ejemplo, el tipo de cultivo existente, la fecha de toma de datos, fotos de los cultivos/parcelas, observaciones, etc. puesto que permite crear formularios personalizados. Por otra parte, *gvSIG Desktop* se ha usado para poder importar los datos obtenidos en campo y poder crear capas en formato vectorial para su posterior análisis.
- ***Geopaparazzi*:** es una herramienta/complemento que se puede añadir como otra funcionalidad más a *gvSIG Desktop* para poder visualizar en un SIG los datos de campo obtenidos a partir de la aplicación *gvSIG Mobile*. Entre sus funciones están:
 - La recopilación de datos SIG de forma rápida
 - La creación de formularios personalizados
 - Permite importar imágenes georreferenciadas
 - Fácil manejo e intuitivo

6.2 ARCMAP

ArcMap (versión 10.5): es el componente principal del conjunto de programas de procesamiento geoespacial de ArcGIS de ESRI. Se utiliza principalmente para visualizar, editar, crear, analizar, entre otras funciones, los datos geoespaciales. Algunas de las ventajas del ArcMap son la posibilidad de crear mapas ya sean en 2D como en 3D y poder compartirlo en línea, permite realizar análisis espacial utilizando las herramientas de geoprocésamiento, permite administrar datos geográficos en forma de tablas, imagen, LIDAR, etc. pudiendo crear nuevas entidades puntuales, lineales, poligonales, etc. y editarlos posteriormente, automatiza el flujo de trabajo encadenando los procesos de geoprocésamiento utilizando el *ModelBuilder* y, cuenta con un catálogo *ArcCatalog* que permite organizar los *datasets* y geodatabases SIG.

El ArcMap 8.0 fue la primera versión publicada por ESRI que funcionaba en los sistemas operativos Windows. A lo largo del tiempo, ESRI ha ido corrigiendo errores del SIG y mejorando versiones anteriores hasta llegar a la nueva versión del 2019, el ArcGIS 10.7.



6.3 SENTINEL HUB PLAYGROUND

Sentinel Hub Playground es un sitio web donde se puede ver las imágenes multiespectrales de Sentinel-2. El usuario puede hacer una consulta de las imágenes disponibles en una fecha concreta y su nivel de nubosidad. El visor mostrará las imágenes las cuales se podrán ver en diferentes combinaciones entre bandas e incluso se podrá customizar las bandas de interés por el usuario.

6.4 SNAP DESKTOP

Snap es un software gratuito para el procesado y análisis de imágenes satelitales. Se puede obtener directamente desde la página oficial de descarga de ESA. Al igual que *ArcMap* u otros SIG, tiene su propio repositorio de herramientas para el procesado y tratamiento de imágenes Sentinel. Esta aplicación se ha usado para procesar las imágenes hasta convertirlas en un formato reconocido por *ArcMap*.

6.5 MICROSOFT OFFICE

Se ha utilizado *Microsoft Excel* para plasmar los resultados obtenidos en los cálculos, interpretarlos y representarlos mediante gráficas o tablas.

6.6 MATLAB R2017A

Matlab es un software implementado en C, Java y MATLAB, una licencia propietaria por lo que el acceso a su código fuente es restringido, sin posibilidad ninguna de modificar, adaptar o compartirlo por parte de terceros. Este programa se ha utilizado para la depuración de los datos en campo con el objetivo de encontrar los valores atípicos que afectan al valor medio de la distribución de los datos.

La depuración se ha llevado a cabo utilizando "*Box and Whisker*", también conocido con otros nombres como diagrama de caja, caja y bigote o box plot. El diagrama de caja se utiliza en estadística ya que proporciona una visión, en forma de gráfica, de la simetría de los datos y también permite ver los valores atípicos de un conjunto de datos llamados "*outliers*".



7. DATOS DE PARTIDA

7.1 CAPAS VECTORIALES

Las capas vectoriales del término municipal de Alboraya han sido descargadas desde la Sede Electrónica de Catastro. De la capa de polígonos interesan atributos como la referencia catastral, el tipo de la parcela (rústico, dominio público, diseminado, etc.), y su área.

Para descargar el formato vectorial *Shapefile* se requiere la autenticación del usuario, bien usando un certificado digital o un DNI electrónico, o bien mediante un pin o clave. Una vez autenticado se procede a la selección de la provincia y municipio de interés para poder descargar las capas, que en este caso son aquellas capas de las parcelas rústicas del municipio de Alboraya. El sistema de referencia de las capas es el *ETRS89*.

Shapefile es el formato de archivo de ESRI, una compañía que crea y comercializa softwares para SIG como el *ArcGis*. Es un formato que sigue el estándar de facto y actualmente es el más utilizado en el mundo de los sistemas de información geográfica para intercambiar información geográfica entre diferentes SIG. Requiere de otros archivos para que funcione que son:

- *.shp*: almacena la geometría de los objetos
- *.shx*: archivo que almacena el índice de la geometría de la entidad
- *.dbf*: almacena la información de atributos de las entidades
- *.prj* (opcional): almacena la información del sistema de coordenadas

Estos archivos son visibles si se abren desde el explorador de Windows. Sin embargo, en un SIG el formato *.shp* será el único visible al usuario. Las extensiones tienen que compartir el mismo nombre de fichero para que el *software* pueda reconocer la capa *shape*.

7.2 CAPAS RASTER

Se han descargado dos ortofotos de máxima actualidad en formato *ECW* y *ETRS89* como sistema de referencia desde el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) que pertenecen a las hojas 696 y 722. Estas capas se han utilizado, junto con la capa vectorial de Catastro, para crear las teselas que sirven como capa base en la toma de datos en campo.

7.3 IMÁGENES DE SENTINEL-2

Las imágenes necesarias de Sentinel-2A y 2B se han descargado desde la página oficial de ESA llamada *Copernicus Open Access Hub*, un visor de acceso gratuito, pero requiere tener un perfil para realizar la descarga de datos. Las imágenes usadas son de nivel 2A, imágenes que ya han sufrido correcciones atmosféricas, por lo que no se haría falta hacer otras correcciones.

8. METODOLOGÍA

8.1 PREPARACIÓN DE LAS CAPAS VECTORIALES PARA LA TOMA DE DATOS

La capa de las parcelas rústicas de Catastro ha sido recortada mediante el *ArcMap* para ahorrar recursos del dispositivo móvil. Como ejemplo, en la *figura 20* se pueden ver las parcelas rústicas delimitadas en color rojo.

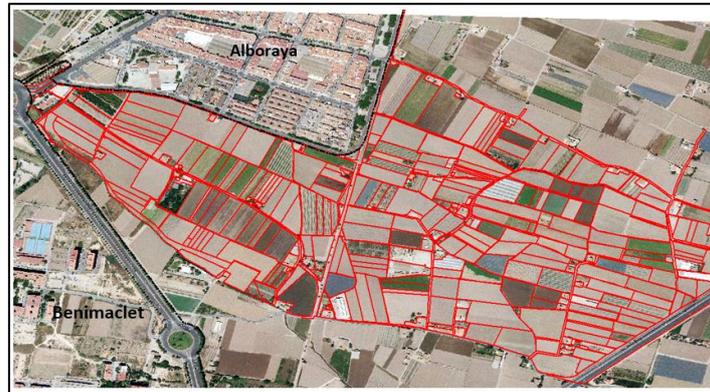


Figura 20. Zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia a partir de las capas vectoriales de Catastro

Las ortofotos también han sido recortadas puesto que ocupaban gran parte de la superficie terrestre, la cual no es de interés. Con el recorte se ha reducido el uso indebido de la memoria del dispositivo móvil a la hora de cargarla. Las ortofotos finalmente se han exportado en formato TIFF (*figura 21*).



Figura 21. Ortofoto recortada desde un SIG.

8.2 PREPARACIÓN DE LA APLICACION PARA LA TOMA DE DATOS

Antes de realizar la toma de datos en campo, se ha configurado la aplicación (*GvSIG Mobile*) para poder llevar a cabo el trabajo en campo.

8.2.1 CREACIÓN DE TESELAS Y FORMULARIOS CON GEOPAPARAZZI

GvSIG Mobile utiliza un mapa base sencillo por lo que no sería útil utilizarlo para este trabajo, pues se necesita información a nivel subparcelario de la zona de estudio. La solución ha sido crear una capa ráster e importarla a la aplicación como mapa base del proyecto.

La herramienta o el complemento que hace posible llevarlo a cabo se llama *Geopaparazzi* y se añade como un complemento al *GvSIG Desktop*. (*figura 22*).

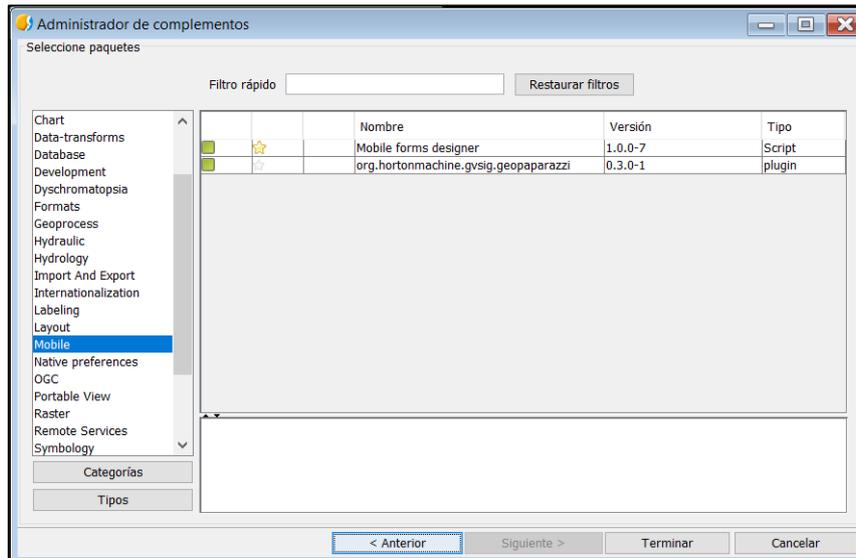


Figura 22. Instalación de Geopaparazzi en gvSIG Desktop.

Al final de la instalación, en el menú de *GvSIG Desktop* aparecerá un nuevo apartado – *HMachina* - donde estarán las funciones que se pueden usar para personalizar el proyecto (figura 22).

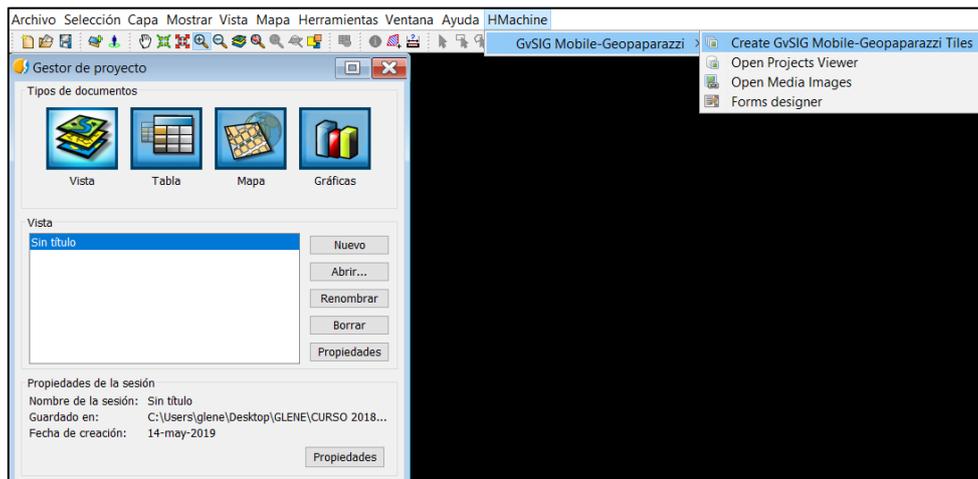


Figura 23. Geopaparazzi y sus funciones.

La creación de las teselas se hará mediante la opción *Create GvSIG Mobile-Geopaparazzi Tiles* (Ver figura 23). Se debe preparar la capa de interés antes de ser importada a *gvSIG Mobile*. Por ejemplo, como se muestra en la figura 24, se superpone la capa rústica de catastro con la ortofoto. Con ello, se consigue tener delimitadas las parcelas de la zona de estudio.



Figura 24. Preparación de la capa para importar a gvSIG Mobile.
Fuente: Elaboración propia

Ya con la capa preparada, se procede a crear las teselas haciendo clic en la opción mencionada anteriormente. Se deben configurar los niveles de *zoom* (se recomienda dejar los valores por defecto, pues a medida que el valor de *zoom* aumenta, la carga de la imagen en *gvSIG Mobile* será más lenta porque el número de teselas para cargar será mayor), el tipo de imagen (png o jpg), y el nombre de fichero de salida.

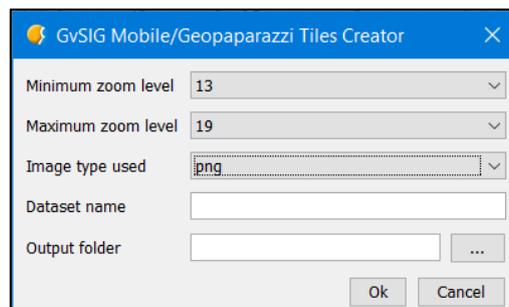


Figura 25. Ejemplo de la configuración de las teselas para gvSIG Mobile.

La capa base creada para realizar el trabajo en campo sería como se muestra en la *figura 26*.



Figura 26. Capa base, en forma de imagen georreferenciada, importada a GvSIG Mobile.

FORMULARIOS

Los formularios, al igual que otras funciones de *GvSIG Mobile*, se pueden modificar a gusto del usuario. Se pueden crear formularios nuevos para la toma de datos o editar uno ya integrado por defecto en la aplicación. Para este proyecto, se aprovechará el formulario por defecto para añadir otra nueva sección que se usará para registrar la información de las parcelas de entrenamiento.

Desde *Forms Designer* de *GvSIG Mobile Geopaparazzi* (Ver figura 22) se podrá importar el formulario a editar. En la figura 27 se puede ver el formulario creado para hacer el trabajo en campo. El último paso sería importarlo a *GvSIG Mobile* y el formulario tendría el aspecto como se muestra en la figura 28, con la nueva sección “CULTIVOS” y pinchando en él se abriría una nueva ventana con el formulario personalizado.

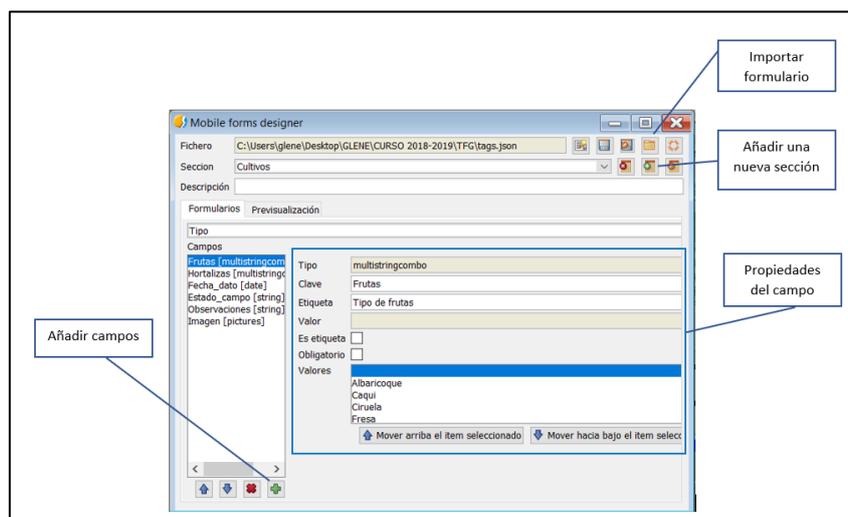


Figura 27. Ejemplo del diseñador de formularios de *gvSIG Mobile*.

Fuente: Elaboración propia

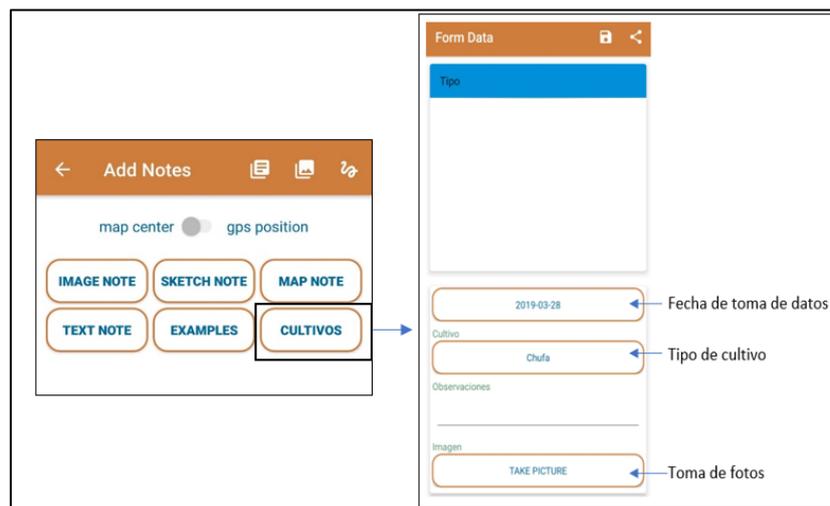


Figura 28. Formulario de *gvSIG Mobile* con la nueva sección creada de cultivos.

Fuente: Elaboración propia

8.3 PREPARACIÓN DE LAS IMÁGENES SENTINEL-2 PARA EL ANÁLISIS

8.3.1 SENTINEL HUB PLAYGROUND

Se ha apoyado en el visor *Sentinel Hub Playground* para previsualizar el producto disponible en una fecha en concreta mediante combinaciones diferentes entre bandas (color verdadero, falso color, etc.) y el porcentaje de cobertura de nubes de dicho producto como se puede ver en la *figura 29* antes de la descarga.

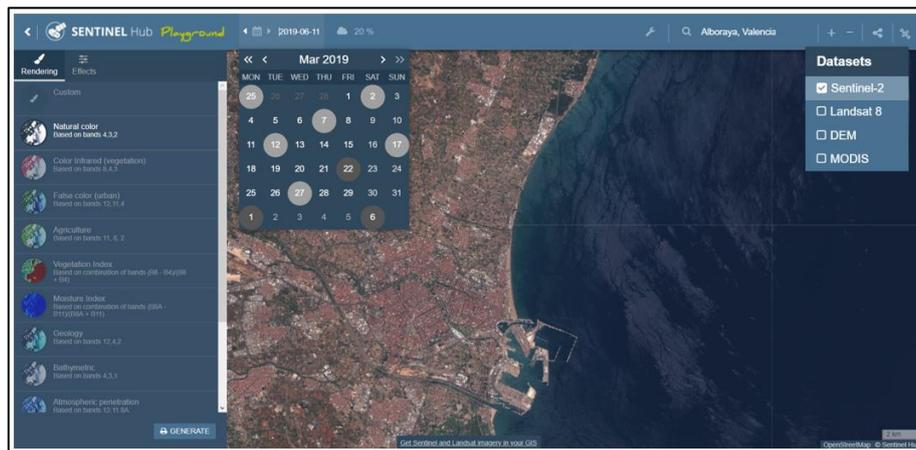


Figura 29. Interfaz de Sentinel Hub Playground

8.3.2 DESCARGA DE IMÁGENES SENTINEL-2

Las imágenes multiespectrales se pueden obtener desde la página web oficial de ESA llamada *Copernicus Open Access Hub* la cual contiene los productos de distintos niveles de procesamiento. El acceso es gratuito, pero se requiere crear un perfil antes de realizar alguna consulta (ver *figura 30*).

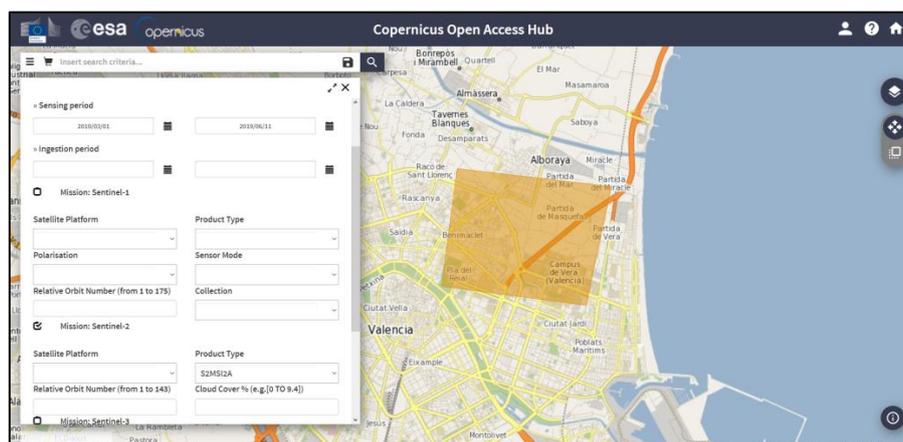


Figura 30. Interfaz para la descarga de imágenes Sentinel-2.

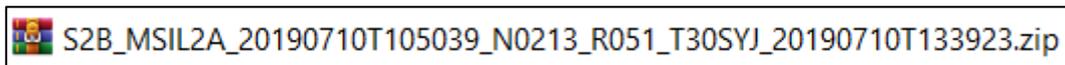
En el panel de búsqueda se introducen los criterios como son el tipo de satélite, el periodo de detección, nivel de procesamiento de la imagen, cobertura de nubes, etc. y en el propio visor se dibuja un polígono cubriendo la zona de estudio.

La descarga se realiza en formato comprimido y el tiempo puede durar varios minutos dependiendo de los recursos del ordenador. Como ejemplo, en la imagen siguiente se muestra



un fichero comprimido con una nomenclatura bastante larga y poco entendible para usuarios nuevos en este tema.

Cada nomenclatura está separada por una barra. Las nomenclaturas más importantes son las tres primeras. La primera indica el identificador de la misión (S2B – Sentinel 2B), la segunda indica el tipo de la imagen (MSI de Multiespectral) y el nivel de procesamiento (L2A) y la tercera indica la fecha de adquisición.



Las versiones anteriores a 6.0 de SNAP requieren que el fichero sea descomprimido para que el software lo pueda reconocer. Para versiones más recientes, este paso no sería necesario.

8.3.3 REMUESTREO DE LAS IMÁGENES SENTINEL-2

Se hace el remuestreo para poder realizar operaciones entre bandas como por ejemplo la obtención de valores de los píxeles. Por ello, todas las bandas necesitan tener la misma resolución espacial. El resultado del remuestreo es de 10 m de resolución espacial.

8.4 ANÁLISIS DE LOS DATOS

8.4.1 OBTENCIÓN DE LOS ÍNDICES Y CLASIFICACIÓN

Los índices de vegetación utilizados son el NDVI y el GNDVI. Las imágenes raster que se obtienen de los dos índices servirán para obtener los valores medios por mes de las parcelas de entrenamiento mediante una estadística zonal. Se calculará el valor promedio de las parcelas que tengan el mismo cultivo y se creará la curva temporal de cada uno de ellos. Se elegirá un índice de vegetación de los índices ya mencionados para utilizarlo en la clasificación posterior de las subparcelas no visitadas. La elección del índice de vegetación a utilizar se va a basar en la fiabilidad global obtenida de cada uno de ellos.

Se obtendrán los valores medios por mes de las subparcelas no visitadas mediante una estadística zonal utilizando el índice de vegetación con mayor precisión. La clasificación de estas se hará por correlación entre la curva temporal del índice de vegetación elegido y los valores medios de las subparcelas no visitadas.

8.4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y CREACIÓN DEL MAPA

Se obtendrán índices estadísticos con la finalidad de descartar aquellos datos que empeoren el resultado de la clasificación. Se apoyará en el valor de la varianza que se obtendrá a partir de los valores medios por mes del índice de vegetación de cada subparcela no visitada. Aquellas subparcelas con una varianza mínima, es decir, valores próximos a cero serán descartados en la clasificación y se les asignará la clase "SIN CLASIFICAR".

9. DESARROLLO DEL PROYECTO

9.1 REMUESTREO Y RECORTE DE LAS IMÁGENES SENTINEL-2

En la siguiente figura se muestra el esquema del procedimiento a seguir de la preparación de las imágenes Sentinel-2.



Figura 31. Procedimiento para preparar las imágenes Sentinel-2.

Desde SNAP, se ha cargado la imagen Sentinel-2 en formato comprimido. El remuestreo se hace a través del menú *Raster – Geometric Operations – Resampling* y se ha hecho utilizando las bandas de interés como, por ejemplo, la banda 2 como referencia de remuestreo (figura 32). El proceso puede tardar varios minutos dependiendo de la velocidad de procesamiento y del rendimiento del ordenador.

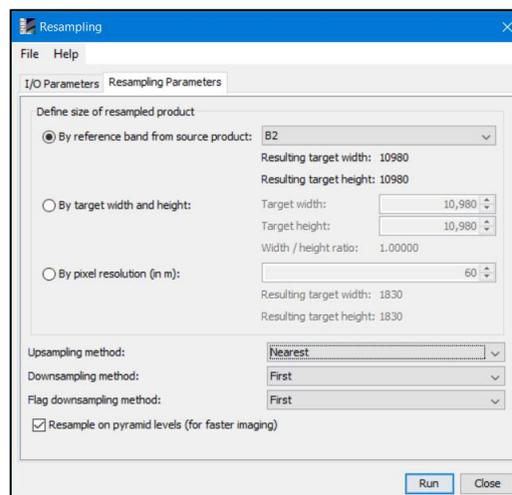


Figura 32. Parámetros de remuestreo.

Después del remuestreo se ha aplicado una conversión de dato para poder exportar la imagen a un formato reconocido por *ArcMap*, en este caso, en formato *GEOTIFF*. Este proceso se hace a través de *Raster – Data Conversion – Convert Datatype*. En la siguiente figura se muestran los parámetros a tener en cuenta. Se han seleccionado las bandas de interés, las bandas 2,3 y 4 son del espectro visible (azul, verde y rojo respectivamente) y la banda 8 es la infrarrojo cercano. Este proceso, al igual que el anterior, también requiere varios minutos.

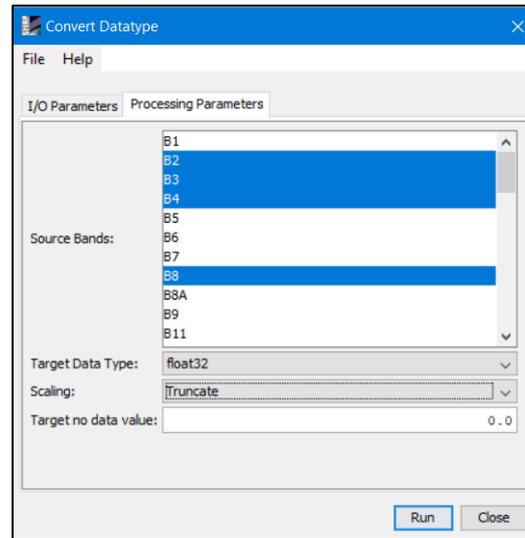


Figura 33. Parámetros de conversión de dato.

El recorte o *Subset* se ha aplicado a las imágenes remuestreadas para delimitar la zona de estudio, facilitar el análisis y reducir el volumen de la imagen. Se hace desde *Raster – Subset* (figura 34).

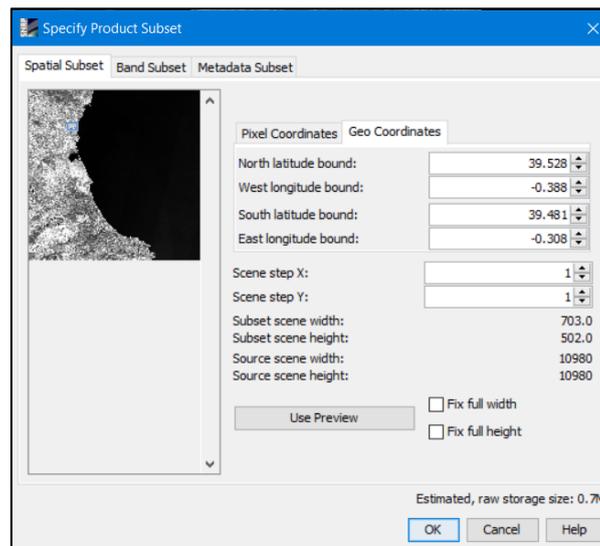


Figura 34. Parámetros del recorte o *Subset*.

En la pestaña *Spatial Subset* se han definido las coordenadas geográficas que delimitan la zona de estudio, aunque también se podría introducir coordenadas en píxeles como límites de la zona. En la pestaña *Band Subset*, se han elegido las bandas a recortar, aunque solo se disponían de las cuatro bandas de interés por ser una imagen ya remuestreada.

La imagen final sería la que se muestra a continuación en falso color:



Figura 35. Imagen remuestreada y recortada visualizada en falso color.

9.2 CÁLCULO DEL NDVI Y DEL GNDVI

El cálculo de los dos índices de vegetación de las imágenes Sentinel-2 se ha hecho mediante la opción de análisis de imagen (*Image Analysis*) de *ArcMap*. Esta opción es útil no solamente para calcular índices de vegetación sino también para realizar procesos como orto-rectificación, obtener capa de sombras, suavizar imagen pancromática, etc.

El panel de análisis de imagen se abre desde el menú *Windows – Image Analysis* (figura 36). Antes de proceder al cálculo de los índices de vegetación se ha verificado que el número de las bandas introducidas son las correctas. Observando la figura 35, para el caso del NDVI en la banda del rojo (“*Red Band*”) se pondría el valor 3 que corresponde a la banda del rojo y en la banda del infrarrojo se colocaría el valor 4 (“*Infrared Band*”). Esta opción no solo es válida para calcular el NDVI sino sirve también para calcular el GNDVI. En este caso, se cambiaría el valor de la opción “*Red Band*” a 2 que corresponde a la banda del verde.

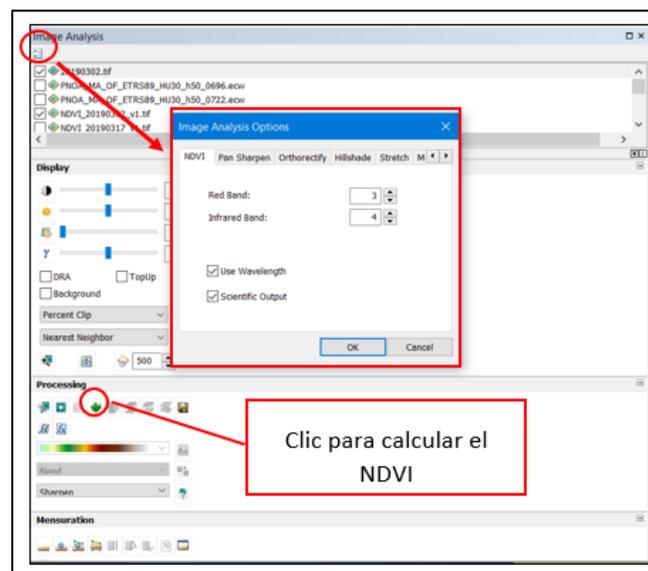


Figura 36. Opciones para el cálculo del NDV y GNDVI.

El resultado del proceso se ha comprobado para verificar la coherencia de los valores. Se puede ver en la siguiente imagen que los valores están dentro del intervalo de valores del NDVI [-1,1].

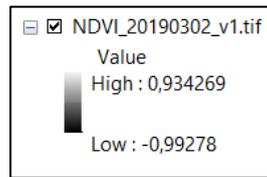


Figura 37. Resultado del NDVI.

Como ejemplo, se muestra una imagen del mes de marzo a la que se ha calculado los valores medios de NDVI (Ver figura 38).

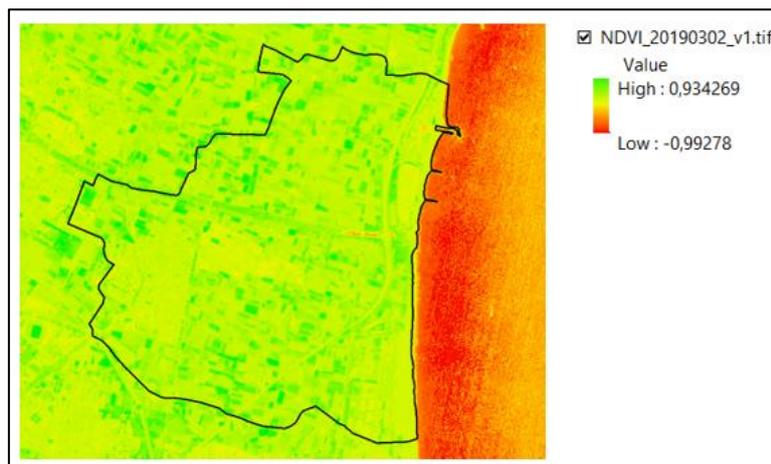


Figura 38. NDVI de Alboraya. Mes de marzo.

La interpretación que se puede dar, grosso modo, es la presencia de vegetación sana representada en color verde intenso. Las carreteras y los cascos urbanos se representan en un tono verde-amarillento y la zona de agua como es el mar mediterráneo tiene una respuesta muy baja como se puede observar en la figura anterior.

En la siguiente figura se muestra el esquema del procedimiento a seguir hasta llegar al producto final.



Figura 39. Proceso de análisis de los datos para el diseño de la cartografía.

En primer lugar, se han determinado los datos necesarios en cada fase del proyecto ajustándolos a la zona de estudio. Antes de realizar el trabajo en campo, se ha realizado una visita para ver los cultivos existentes en ese momento. Con ello, se ha decidido el número de cultivos para tener en cuenta para la definición de los tipos de cultivo.

9.3 TOMA DE DATOS EN CAMPO

En la primera quincena del mes de marzo ha tenido lugar la primera toma de datos de campo y en aquel momento se podían encontrar parcelas con patatas, coles, cebollas y cebollines. La

siguiente visita ha tenido lugar cuando en las parcelas ya dominaban las chufas, calabazas y coles.

La toma de datos en campo de cada parcela se ha realizado, como ya se ha mencionado, con *GvSIG Mobile* creando un nuevo proyecto. La información de cada parcela de entrenamiento se ha guardado utilizando el formulario creado anteriormente en *GvSIG Desktop*. Cada registro guardado es un punto y hay diferentes maneras de hacerlo.

- **Centrar el mapa:** el usuario tiene la libertad de desplazar el punto por el mapa. De esta manera permite colocarlo en la posición óptima de la parcela para no tener conflictos con otros puntos de otras parcelas.



Figura 40. Centrado del punto en *GvSIG Mobile*
Fuente: *Elaboración propia*

- **Posición GPS:** coloca el punto en la ubicación donde se encuentra la persona que realiza el trabajo en campo. En este caso no se ha utilizado esta opción puesto que la toma de dato se ha llevado a cabo en los caminos.

Una vez realizado el trabajo en campo se ha importado el proyecto a *GvSIG Desktop* para poder trabajar con la capa de interés en formato reconocido por *ArcMap* puesto que todo el análisis se ha realizado con este SIG.

Cuando se importa un proyecto de *GvSIG Mobile* a *Desktop* se crean varias capas, una capa para las imágenes que indica la dirección relativa del directorio donde se guardan las imágenes tomadas en campo y otra capa de puntos de los cultivos registrados. La primera capa mencionada se crea por defecto y contiene la misma información (la dirección relativa de las imágenes guardadas) que la de la capa de puntos.

	ts	altim	isdirty	Fecha_datos	Cultivo	Observacio	Imagen
50	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros		media/IMG_20...
51	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
52	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
53	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
54	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
55	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
56	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
57	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
58	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
59	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
60	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Almacén. P...	
61	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
62	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
63	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	
64	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
65	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
66	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	Edificio	media/IMG_20...
67	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros		media/IMG_20...
68	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
69	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
70	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
71	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
72	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Otros	No homogé...	media/IMG_20...
73	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...
74	2019-06...	0,00000...		12019-06-16	Chufa		media/IMG_20...

Figura 41. Tabla de atributos de la capa importada.

A partir de aquí todo el análisis de los datos se ha realizado con ArcMap.

9.4 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS EN ARCMAP

Unión espacial

Se ha verificado que todos los puntos de la capa de cultivos estuvieran dentro de cada parcela para poder transferir las referencias catastrales a los puntos para así tenerlos bien identificados. La referencia catastral se encuentra en la capa de subparcelas de catastro y para transferir estos datos a los puntos se ha hecho una unión espacial de las tablas.

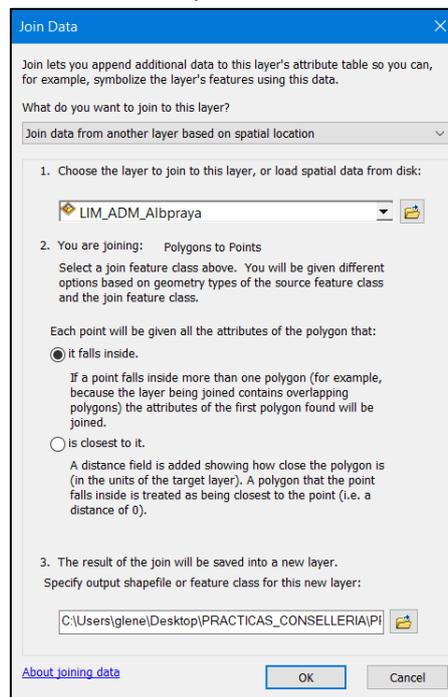


Figura 42. Proceso de unión espacial entre tablas de una capa de polígonos y otra capa de puntos.

NOTA: En el trabajo en campo, es importante tener los puntos lo más centrado posible de la parcela para poder transferir de forma correcta los atributos de interés a la capa de puntos.

Con esto, se ha conseguido asignar las respectivas referencias catastrales de las parcelas rústicas a los puntos (Ver figura 43).

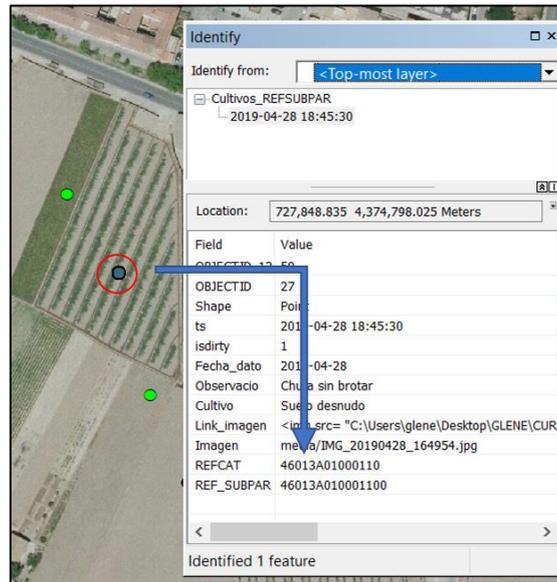


Figura 43. Transferencia de atributos de una capa de polígonos a una capa de puntos.

Estadística zonal

El paso siguiente ha sido extraer la estadística zonal de las parcelas de entrenamiento agrupándolas según el cultivo que había. La estadística zonal se ha realizado a nivel parcelario utilizando las imágenes resultantes del proceso de NDVI y GNDVI mediante la función *Zonal Statistics as Table* de ArcMap disponible en el grupo de análisis espacial del *Toolbox*. Se han utilizado 10 imágenes satelitales entre el mes de marzo y julio y, por tanto, 10 diferentes valores medios de los índices de vegetación.

En la *tabla 2* se observan los valores estadísticos de las parcelas con patata unos días antes de la toma de datos en campo.

OBJECTID *	Id_subpar	ZONE_CODE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
7	46013A010000720	7	64	6400	0.477849	0.890242	0.412392	0.810384	0.093542	51.864549
1	46013A010000320	1	46	4600	0.521934	0.878931	0.356997	0.788342	0.088823	36.263728
12	46013A010000510	12	76	7600	0.241002	0.832136	0.591134	0.749183	0.11105	56.937913
10	46013A010000390	10	44	4400	0.311209	0.879881	0.568672	0.736995	0.154006	32.427788
5	46013A010001210	5	16	1600	0.609003	0.827033	0.218031	0.735598	0.056308	11.769568
2	46013A010000330	2	19	1900	0.50813	0.790791	0.282661	0.698037	0.076595	13.262708
6	46013A010001220	6	16	1600	0.486474	0.860535	0.374061	0.689524	0.078691	11.032389
11	46013A010000790	11	28	2800	0.337822	0.878494	0.540672	0.663475	0.157924	18.577299
9	46013A00900209a	9	28	2800	0.317857	0.764706	0.446849	0.626554	0.12713	17.543526
3	46013A010000680	3	35	3500	0.305314	0.698041	0.392727	0.57445	0.098907	20.105755
8	46013A010000760	8	20	2000	0.289735	0.658291	0.368556	0.551543	0.092152	11.030854
4	46013A010001090	4	13	1300	0.303855	0.671893	0.368038	0.528586	0.117833	6.871621

Tabla 2. Resultado de la estadística zonal.

Fuente: ArcMap

En el momento de la visita había mucho vigor de vegetación en las parcelas y por esta razón los valores medios (*MEAN*) se aproximan a la unidad. Para corroborar los resultados de la tabla anterior, se muestra la *figura 44* tomada de una parcela con patata.



Figura 44. Parcela con cultivo de patata.
Fuente: Imagen propia

A continuación, se muestran las gráficas de las curvas temporales del NDVI y GNDVI de todos los cultivos:

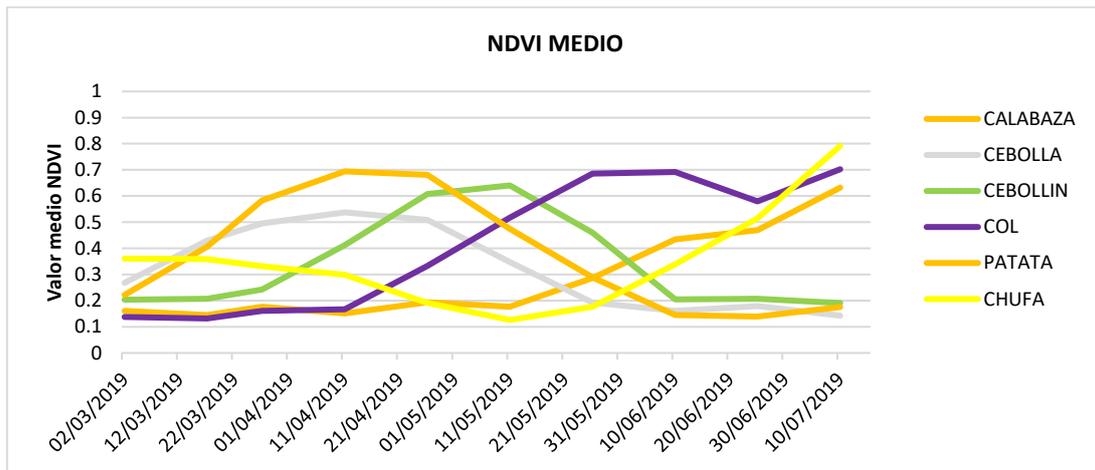


Figura 45. Gráfica de la curva temporal de los cultivos. Valores medios de NDVI.

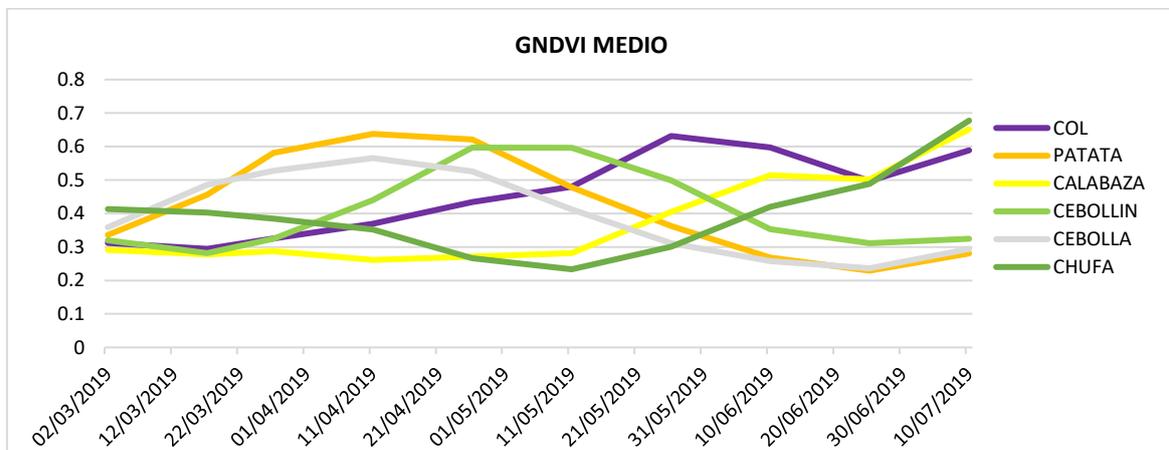


Figura 46. Gráfica de la curva temporal de los cultivos. Valores medios de GNDVI.

9.5 CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

El primer paso es depurar los datos mediante el uso de Matlab antes de realizar algún cálculo. La depuración se hace importando a Matlab, en forma de tabla, los valores medios de la serie temporal de cada subparcelas de la misma clase. Como ejemplo, se introducen al programa los valores medios de GNDVI por mes (Ver *figura 47*) de las parcelas de entrenamiento y se ejecuta el comando “*Boxplot('nombre_tabla')*”.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.3297	0.2995	0.3501	0.5078	0.5386	0.4553	0.5787	0.5555	0.5475	0.6459
2	0.3966	0.6262	0.7308	0.7263	0.6264	0.3450	0.2999	0.1449	0.1947	0.1619
3	0.3100	0.4896	0.6419	0.6826	0.6707	0.6190	0.2200	0.2154	0.2174	0.2071
4	0.2668	0.3597	0.4845	0.6231	0.6656	0.6022	0.3067	0.2612	0.2685	0.4158
5	0.4374	0.5739	0.6492	0.6366	0.5383	0.3504	0.3731	0.3556	0.2830	0.2638
6	0.2634	0.2852	0.4098	0.6324	0.6992	0.6406	0.5720	0.2659	0.2331	0.2799
7	0.3709	0.5325	0.6308	0.5960	0.5319	0.2484	0.2973	0.2407	0.2146	0.2631
8	0.3277	0.3645	0.5165	0.5577	0.6112	0.4726	0.5423	0.3351	0.2790	0.3604
9	0.3038	0.2792	0.2818	0.3241	0.5233	0.3756	0.5438	0.3563	0.3454	0.2683
10	0.3165	0.5155	0.6445	0.6625	0.6339	0.4331	0.3129	0.2670	0.1656	0.1886
11	0.3392	0.3546	0.5187	0.6229	0.6161	0.5884	0.3413	0.3299	0.2077	0.3839

Figura 47. Valores medios por mes de las parcelas con patata. GNDVI.

El resultado sería el que se muestra en la siguiente figura:

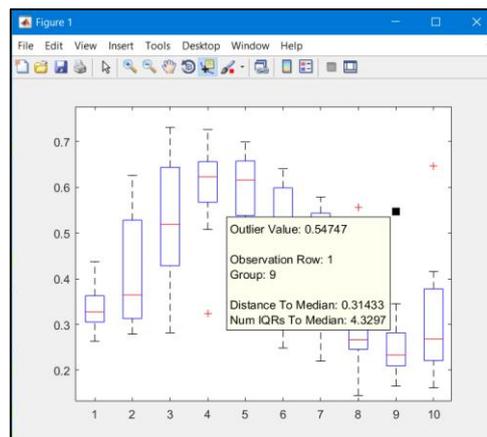


Figura 48. Resultado de Boxplot usando valores medios de GNDVI de las parcelas con patata.

La *figura 48* muestra la distribución de una serie de datos que son los valores medios de GNDVI de las parcelas de entrenamiento. La primera caja corresponde al primer conjunto de valores de las subparcelas que son los valores medios de GNDVI de la primera imagen de marzo (02/03/2019), la segunda caja representaría los valores medios de las subparcelas de la imagen siguiente de marzo que correspondería a la imagen del 17/03/2019 y así, sucesivamente para las demás cajas. Como ya se ha mencionado, la línea roja horizontal dentro de la caja representa la mediana de los valores, las líneas horizontales que se extienden desde la caja representan los valores máximos y mínimos de los valores y los *outliers* o valores atípicos son los valores medios que no siguen la distribución del conjunto de valores medios.

En este caso, el diagrama de caja ha identificado varios *outliers*. Por ejemplo, la fila 1 – columna 9 sería un valor que no sigue la distribución de los otros datos y la gráfica de la *figura 49* ayuda a verificar este resultado.

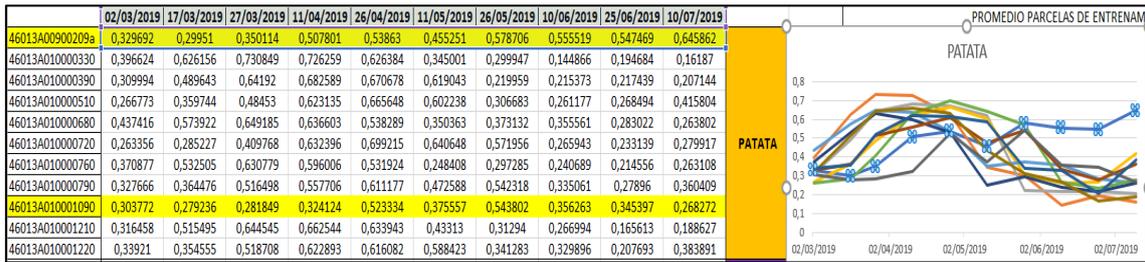


Figura 49. Valores medios por mes de las parcelas con patata.

A continuación, se calcula el promedio por tipo de cultivo de las parcelas de entrenamiento para cada uno de los meses de estudio para utilizarlo como base a la clasificación de las parcelas visitadas.

La depuración ha mejorado notablemente la fiabilidad de la clasificación por correlación a partir de los valores medios de la serie temporal de GNDVI de las parcelas de entrenamiento. Sin depurar los datos, las fiabilidades globales de las clasificaciones hechas con los dos índices de vegetación son muy similares (Ver figura 50)

GNDVI. CLASIFICACIÓN DE LAS PARCELAS							
DATOS DE REFERENCIA							
CLASE	COL	PATATA	CALABAZA	CEBOLLIN	CEBOLLA	CHUFA	
COL	3	0	0	1	0	0	4
PATATA	0	3	1	2	5	0	11
CALABAZA	0	0	5	0	0	2	7
CEBOLLIN	0	0	0	3	0	0	3
CEBOLLA	0	2	0	0	5	0	7
CHUFA	0	0	15	0	1	33	49
	3	5	21	6	11	35	81
Precisión global		64,20%					

NDVI. CLASIFICACIÓN DE LAS PARCELAS							
DATOS DE REFERENCIA							
CLASE	COL	PATATA	CALABAZA	CEBOLLIN	CEBOLLA	CHUFA	
COL	3	0	0	0	0	0	3
PATATA	1	6	0	1	3	0	11
CALABAZA	1	0	3	0	0	3	7
CEBOLLIN	0	0	0	3	0	0	3
CEBOLLA	0	3	0	0	4	0	7
CHUFA	0	1	15	0	0	34	50
	5	10	18	4	7	37	81
Precisión global		65,43%					

Figura 50. Precisiones de NDVI y GNDVI sin depurar.

Fuente: Elaboración propia

Se obtiene el valor del coeficiente de correlación entre el promedio de cada tipo de cultivo y los valores medios de las parcelas de entrenamiento para verificar que se clasifican de forma correcta.

El resultado de la evolución de ambas clasificaciones se puede ver en las siguientes matrices de confusión:

		DATOS DE REFERENCIA						
CLASES		COL	PATATA	CALABAZA	CEBOLLIN	CEBOLLA	CHUFA	
COL	PREDICCIÓN	3	0	0	0	0	0	3
PATATA		1	6	0	1	3	0	11
CALABAZA		1	0	3	0	0	3	7
CEBOLLIN		0	0	0	3	0	0	3
CEBOLLA		0	3	0	0	4	0	7
CHUFA		0	1	15	0	0	34	50
		5	10	18	4	7	37	81

Precisión global	65,43
Kappa	48,44

Tabla 3. Matriz de confusión de NDVI.

		DATOS DE REFERENCIA						
CLASES		COL	PATATA	CALABAZA	CEBOLLIN	CEBOLLA	CHUFA	
COL	PREDICCIÓN	3	0	0	1	0	0	3
PATATA		1	5	0	2	3	0	11
CALABAZA		0	0	5	0	0	2	7
CEBOLLIN		0	0	0	3	0	0	3
CEBOLLA		0	3	0	0	4	0	7
CHUFA		0	0	6	0	1	43	50
		4	8	11	6	8	44	81

Precisión global	77,78
Kappa	64,09

Tabla 4. Matriz de confusión de GNDVI.

La confusión entre las clases, patata-cebolla y calabaza-chufa se puede explicar observando las tablas de las matrices de confusión (*tablas 3 y 4*) y las curvas temporales de las clases de las *figuras 45 y 46*. Como ejemplo, se observa en la *tabla 3* que, de 11 subparcelas de patata, 3 de ellas se clasifican como cebolla y ocurre lo mismo con la clase cebolla (de 7 subparcelas 3 se clasifican como patata). La confusión de chufa y calabaza es más alta en la matriz de confusión de NDVI, 15 subparcelas de chufa se clasifican como calabaza. En la matriz de confusión de GNDVI, el número de subparcelas de chufa que se clasifican como calabaza disminuye y, por tanto, mejora la clasificación posterior.

Observando las *gráficas 45 y 46*, la curva temporal de la patata y cebolla son muy similares y esto genera confusión en la clasificación de las subparcelas no visitadas. Ocurre lo mismo con los cultivos de verano, chufa y calabaza que como se observa, sus curvas temporales también son muy parecidas por lo que afecta una clasificación más correcta.

A continuación, se muestra una comparativa de las fiabilidades de productor y de usuario de la clasificación de los dos índices.

CLASE	GNDVI		NDVI	
	Fiabilidad usuario (%)	Fiabilidad productor (%)	Fiabilidad usuario (%)	Fiabilidad productor (%)
COL	75,00	100,00	60,00	100,00
PATATA	62,50	45,45	60,00	54,55
CALABAZA	45,45	71,43	16,67	42,86
CEBOLLIN	50,00	100,00	75,00	100,00
CEBOLLA	50,00	57,14	57,14	57,14
CHUFA	95,56	86	91,89	68,00

Tabla 5. Comparativa de las fiabilidades de productor y usuario.
Fuente: Elaboración propia

Se ha decidido utilizar el GNDVI puesto que ofrece mayor fiabilidad global frente a NDVI en la clasificación de las subparcelas de entrenamiento.

9.6 CLASIFICACIÓN DE LAS PARCELAS NO VISITADAS

Se obtiene la estadística de las parcelas no visitadas, a nivel municipal, como son el valor medio de GNDVI por meses y la varianza de cada una de las subparcelas. A continuación, se obtiene el valor del coeficiente de correlación entre la curva temporal de las clases y los valores medios de GNDVI por mes de las subparcelas no visitadas. Con ello, se puede asignar un tipo de cultivo a las subparcelas. Los resultados obtenidos se han importado a ArcMap para su interpretación.

La varianza se ha calculado a partir de los valores medios de GNDVI de la serie temporal de las imágenes para ayudar a descartar aquellas subparcelas que durante los meses de estudio no han albergado ningún cultivo de interés o que se corresponden con otros elementos que no han sufrido cambios durante el periodo de la visita que pueden ser invernaderos, descampados, edificios, zonas con árboles, etc. Como ya se ha explicado, una serie de datos tendrá una varianza próximo a cero cuando, en un periodo de tiempo, no ha sufrido cambios significativos y, por tanto, cada valor de la serie será similar a la media aritmética de todos los valores.

Por tanto, las subparcelas con una varianza menor que 0.01, aunque tengan un valor de coeficiente de correlación que en principio se clasificarían como un tipo de cultivo, son clasificadas como "SIN CLASIFICAR". Se ha decidido tomar el valor de 0.01 puesto que la varianza mínima de los valores medios de los cultivos de entrenamiento es de 0.0144.

PROMEDIO PARCELAS DE ENTRENAMIENTO. GNDVI						
	COL	PATATA	CALABAZA	CEBOLLIN	CEBOLLA	CHUFA
02/03/2019	0,312255	0,336486	0,29108725	0,320244	0,358817	0,41291379
17/03/2019	0,29440225	0,455747	0,2780195	0,28167033	0,48569083	0,402527
27/03/2019	0,32557875	0,58075356	0,28751175	0,32492067	0,52737817	0,38434545
11/04/2019	0,36916625	0,63779233	0,2612095	0,440181	0,5655245	0,35259379
26/04/2019	0,43407625	0,62148222	0,27145425	0,596927	0,52610083	0,26659031
11/05/2019	0,48007175	0,47776022	0,281456	0,59604033	0,41247333	0,23338698
26/05/2019	0,631498	0,36283367	0,4045285	0,498848	0,310866	0,30076312
10/06/2019	0,59709025	0,26839556	0,514181	0,353098	0,257341	0,41978283
25/06/2019	0,4972185	0,22928889	0,5021865	0,311569	0,236404	0,48842036
10/07/2019	0,5889275	0,280508	0,651513	0,32456133	0,2944795	0,67761933
MAX	0,631498	0,63779233	0,651513	0,596927	0,5655245	0,67761933
MIN	0,29440225	0,22928889	0,2612095	0,28167033	0,236404	0,23338698
VAR	0,01581919	0,023031	0,01882174	0,01445302	0,01498356	0,01588675

Tabla 6. Valores estadísticos de las clases.

La mayoría de las parcelas comprobadas con una varianza menor que 0.01 no han sufrido cambios significativos durante los meses de marzo y julio. Se muestran algunas de estas parcelas:

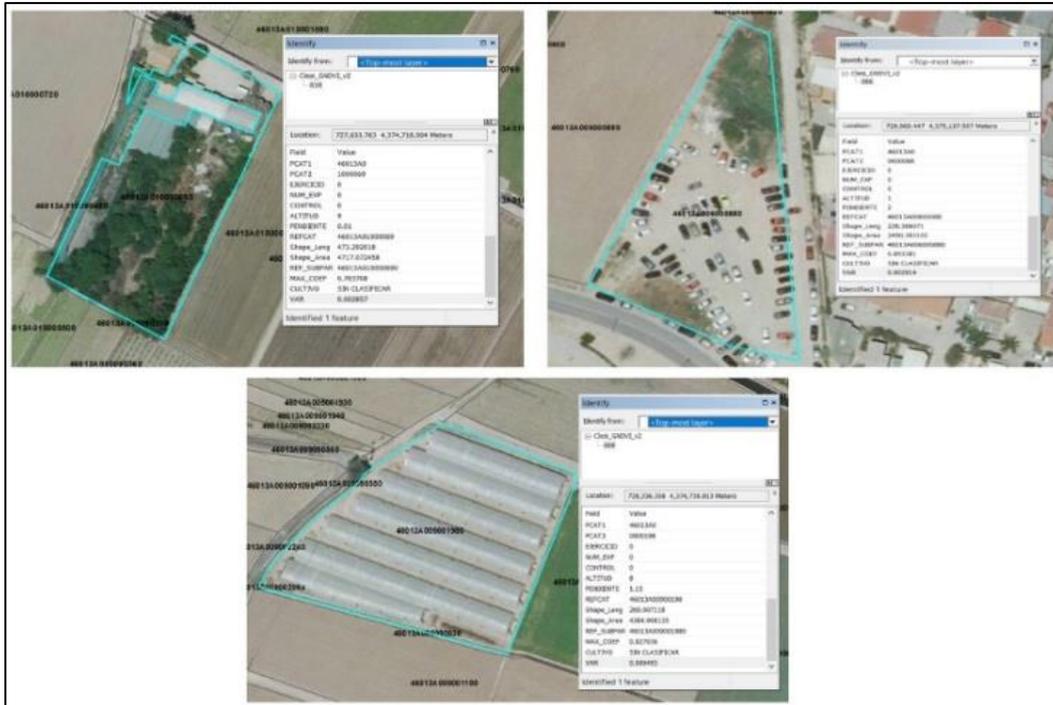


Figura 51. Zonas no cultivadas.

10. RESULTADOS

Los valores medios de la estadística zonal de NDVI, después de hacer la depuración para eliminar los valores atípicos, son los que se muestran en la tabla siguiente:

	02/03/2019	17/03/2019	27/03/2019	11/04/2019	26/04/2019	11/05/2019	26/05/2019	10/06/2019	25/06/2019	10/07/2019
COL	0,16174467	0,12429367	0,14510633	0,14975433	0,27070133	0,40618967	0,639594	0,60632733	0,484798	0,648344
PATATA	0,21883	0,40180056	0,58191267	0,68266178	0,68990989	0,47569144	0,30049522	0,14732111	0,14060978	0,18258056
CALABAZA	0,16153417	0,14523617	0,17911067	0,16390833	0,18560533	0,1761275	0,28670733	0,427247	0,472459	0,62371167
CEBOLLIN	0,20079533	0,195785	0,23304167	0,40767367	0,62292733	0,64197367	0,48598867	0,21411533	0,20794633	0,19567167
CEBOLLA	0,27317033	0,44205483	0,49751067	0,56125883	0,52017833	0,345161	0,20376333	0,13165483	0,16029467	0,149594
CHUFA	0,33161126	0,32273262	0,28827124	0,2529871	0,14701983	0,11615	0,19378421	0,37179426	0,5190375	0,7915284

Tabla 7. Valores de la estadística zonal. NDVI.

Los valores de la tabla anterior son utilizados para crear la gráfica donde se muestra cada una de las curvas temporales de los cultivos.

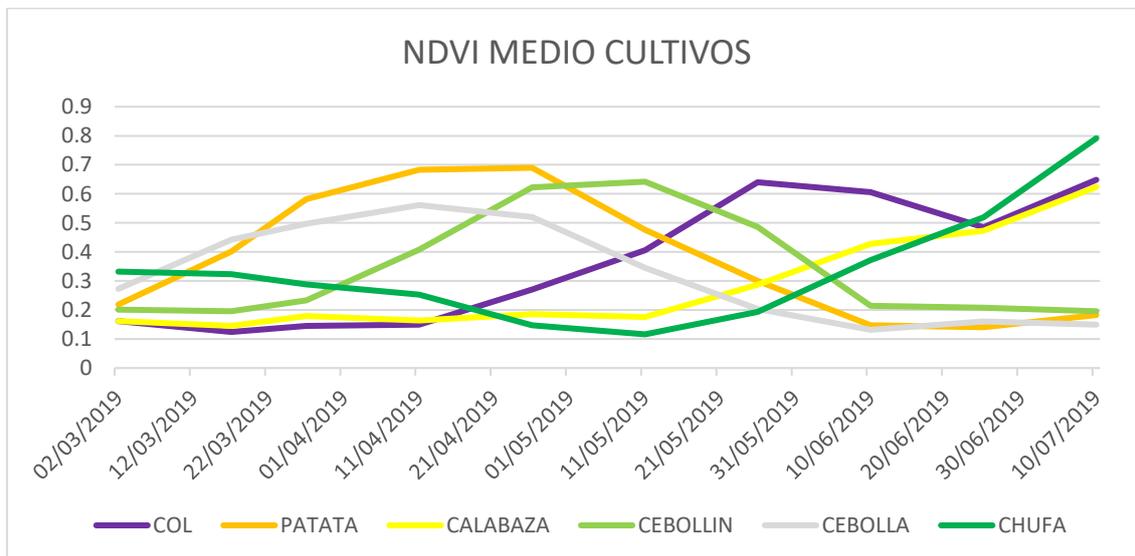


Figura 52. Curva temporal de los cultivos. NDVI.

Observando la gráfica se puede deducir el mes de siembra de cada cultivo y el momento en que tienen mayor reflectancia. Se puede decir con mayor certeza que la col comienza su ciclo en abril y obtiene su mayor respuesta en el mes de mayo con un valor de 0.648, la patata, el cebollín y la cebolla también comienzan a desarrollarse en marzo y terminan en el mes de junio. El valor medio máximo de reflectancia es de 0.689 para la patata y lo hace a finales del mes de abril, 0.6419 para el cebollín en la primera quincena de mayo y 0.561 para la cebolla que lo consigue en el mes de abril. La siembra de la calabaza y la chufa se hace en el mes de abril por lo que su ciclo comienza más tarde que los cultivos ya mencionados. En valor medio más alto obtenido de la chufa es de 0.7915 mientras que la calabaza consigue un 0.623 como valor máximo.

Los valores medios de la estadística zonal para GNDVI después de hacer la depuración son los que se muestran en la tabla siguiente:

Serie temporal de imágenes Sentinel-2										
CLASE	02/03/2019	17/03/2019	27/03/2019	11/04/2019	26/04/2019	11/05/2019	26/05/2019	10/06/2019	25/06/2019	10/07/2019
COL	0,312255	0,29440225	0,32557875	0,36916625	0,43407625	0,48007175	0,631498	0,59709025	0,4972185	0,5889275
PATATA	0,336486	0,455747	0,58075356	0,63779233	0,62148222	0,47776022	0,36283367	0,26839556	0,22928889	0,280508
CALABAZA	0,29108725	0,2780195	0,28751175	0,2612095	0,27145425	0,281456	0,4045285	0,514181	0,5021865	0,651513
CEBOLLIN	0,320244	0,28167033	0,32492067	0,440181	0,596927	0,59604033	0,498848	0,353098	0,311569	0,32456133
CEBOLLA	0,358817	0,48569083	0,52737817	0,5655245	0,52610083	0,41247333	0,310866	0,257341	0,236404	0,2944795
CHUFA	0,41291379	0,402527	0,38434545	0,35259379	0,26659031	0,23338698	0,30076312	0,41978283	0,48842036	0,67761933

Tabla 8. Valores medios de GNDVI de los cultivos por mes.

Los valores de la tabla son utilizados para realizar la gráfica que muestra las curvas temporales de los cultivos:

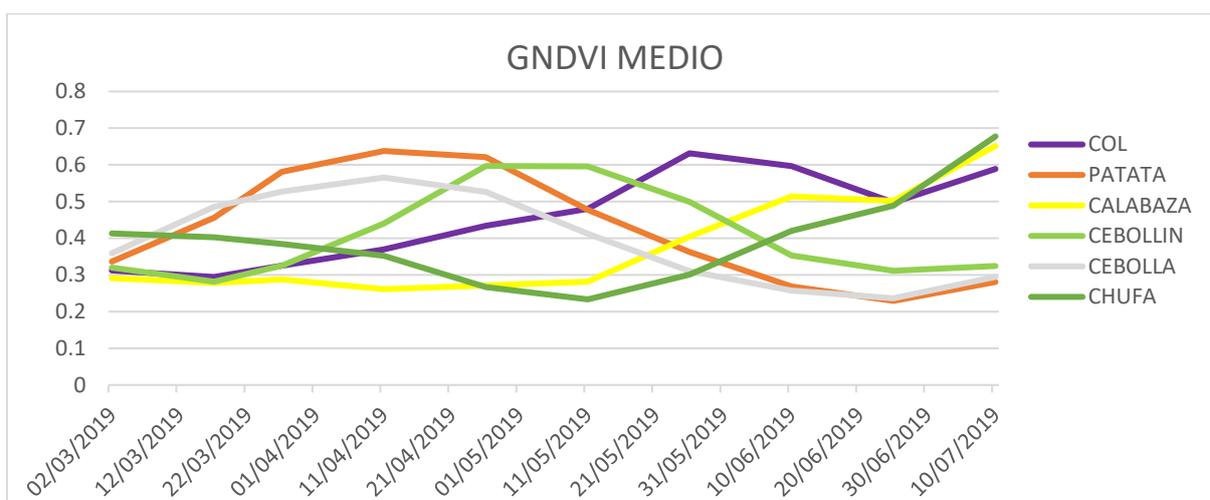


Figura 53. Curva temporal de los cultivos

Si se compara con la gráfica de la *figura 53* no se aprecia mucha diferencia en las curvas y en los valores máximos de cada cultivo y eso genera confusión a la hora de clasificar las muestras. Por ejemplo, observando las dos gráficas, o las tablas de los dos índices, se podría confundir fácilmente la patata con la cebolla o la chufa con la calabaza puesto que las curvas temporales en los meses que había esos cultivos son muy parecidos.

Entonces, ¿por qué se ha utilizado el GNDVI para la clasificación de las parcelas y no el NDVI? La respuesta está en las matrices de confusión. Observando las *tablas 3 y 4*, GNDVI obtiene mejor precisión global con un valor de 77.78% frente un 65.43% del NDVI. Además, el número de parcelas clasificadas de forma errónea es muy parecido en la patata, col, calabaza y cebolla. La diferencia o la confusión entre cultivos más apreciable es en la chufa. Utilizando NDVI el número de las parcelas mal clasificadas de chufa se duplica.

10.1 CARTOGRAFÍA

La cartografía se adjunta en el apartado de los anejos de este trabajo. La asignación de clases a las parcelas no visitadas se ha realizado mediante el Excel y posteriormente se ha importado a Arcmap en forma de tabla para unirla con las parcelas rústicas de Catastro mediante el atributo "referencia subcatastral". De este modo, se ha representado cada parcela según el color asignado a la clase de cultivo. Los límites de las parcelas son los aportados por Catastro. Con la cartografía se ha podido determinar el tipo de cultivo para el periodo de marzo – julio de 2019 y se ha conseguido obtener un mayor detalle que el que proporciona Catastro de las subparcelas rústicas en este caso.



11. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado se puede concluir, en primer lugar, la eficacia de los índices de vegetación a la hora de identificar el cultivo según su respuesta espectral y su validez para la creación de un producto fiable para el usuario final. El procesado, análisis y tratamiento de los datos de campo, junto con el procesamiento de las imágenes multispectrales, han permitido llevar a cabo el objetivo que perseguía este trabajo.

El objetivo de este proyecto ha sido realizar una cartografía de los cultivos de las parcelas rústicas del término municipal de Alboraya para la primavera-verano de 2019, el cual se ha desarrollado correctamente y con una fiabilidad adecuada, aun teniendo un número bastante bajo de muestras.

Los resultados obtenidos de los dos índices utilizados en este proyecto han sido muy similares lo cual ha dificultado la decisión de cuál utilizar para la clasificación de las parcelas no visitadas. No obstante, los resultados de los dos han sido buenos y gracias a la depuración de los datos iniciales y a otras medidas estadísticas como la varianza ha permitido clasificar la cartografía final de forma correcta.

Para el desarrollo del proyecto ha sido necesario y útil el aprendizaje de un SIG para dispositivos móviles que es el *GvSIG Mobile* y su complemento *Geopaparrazzi* y también el uso del programa *SNAP* para el procesado de las imágenes Sentinel-2. Este SIG, fácil de usar e intuitivo a la vez, ha permitido la toma de datos en campo de forma cómoda. Su complemento, ha servido para importar los proyectos creados en el dispositivo móvil a los SIG para escritorio y gracias a su interoperabilidad ha permitido que otro SIG como el ArcMap pudiera realizar el análisis y procesamiento de los datos de campo. Estudiar y aprender el funcionamiento del *GvSIG Mobile* ha supuesto un tiempo considerable pero fructuoso para este proyecto. Cabe destacar también que la mayor parte del tiempo invertido ha sido empleado en el análisis y procesamiento de los datos, en la toma de decisión sobre los índices a utilizar y en la interpretación de los datos para la correcta clasificación de las parcelas no visitadas.



12. LÍNEAS FUTURAS

Como propuesta de mejora se ha pensado en utilizar más índices de vegetación y comprar los resultados. En este proyecto las clases definidas han sido los cultivos más comunes de Alboraya y se ha pensado extraer muestras de otros elementos como suelo desnudo, edificaciones, carreteras adyacentes, etc. el cual permitiría mejorar la clasificación de la imagen.

La evaluación de las clasificaciones se ha realizado con las mismas muestras que se utilizaron para definir las clases teóricas de cada cultivo, sería conveniente utilizar un conjunto de muestras adicional para obtener una estimación de la fiabilidad de la clasificación más correcta.

La confusión entre las clases mencionadas se podría mejorar alargando el periodo de tiempo de las imágenes espectrales, por ejemplo, la curva temporal de calabaza y chufa se podrían distinguir mejor utilizando más imágenes del mes de julio.

La cartografía final permite calcular, por ejemplo, el área total de producción de los cultivos de la zona y hacer predicciones sobre el consumo de agua necesaria, estimar la producción que va a haber de cada cultivo, etc.



REFERENCIAS

- AMBIENTAL, I., 2016. TEMA 1 . Introducción a la Termotecnia. , pp. 1-18.
- DE LIRA, D.Y., 2004. Segmentación de Zonas Urbanas en Imágenes de Satélite. [en línea], pp. 42. Disponible en: <https://www.cimat.mx/~yolanda/cursos/semestre3/proyTec/ProyectoTecWeb.pdf>.
- ESA, 2000. Sentinel Online - ESA. www.sentinel.esa.int [en línea]. [Consulta: 5 junio 2019]. Disponible en: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
- ESA, [s.f.]. Products and Algorithms – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online. [en línea]. [Consulta: 5 junio 2019]. Disponible en: <https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/products-algorithms>.
- FAROOQ, S., 2017. Spectral reflectance of land covers. <http://www.geol-amu.org/notes/m1r-1-8.htm>. [Accessed: 14.11.2017]. *Jet Propulsion* [en línea]. [Consulta: 5 junio 2019]. Disponible en: <http://www.geol-amu.org/notes/m1r-1-8.htm>.
- Sentinel-2 - Missions - Resolution and Swath - Sentinel Handbook. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 5 junio 2019]. Disponible en: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath>.
- WEISSTEIN, E.W., [sin fecha]. Correlation Coefficient. [en línea], [Consulta: 4 septiembre 2019]. Disponible en: <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>.
- Recio Recio, J. A., Pardo Pascual, J. E., Ruiz Fernández Sarría, L. A., & Córcoles Tamarit, P. (s.f.). DETECCIÓN Y CARTOGRAFIADO DE LOS PROCESOS DE EXPANSIÓN URBANA MEDIANTE TÉCNICAS COMBINADAS DE TELEDETECCIÓN Y S.I.G. Recuperado 3 septiembre, 2019, de http://cgat.webs.upv.es/BigFiles/camb_urba.pdf
- Pino, F. (s.f.). [El espectro visible de la luz]. Recuperado 10 junio, 2019, de <https://culturacientifica.com/2016/08/23/ondas-de-radio/>
- ROMERO VILAFRANCA, R. [et al] (2003) *Métodos estadísticos para Ingenieros*. Valencia: Universitat Politècnica de València
- Wolfram MathWorld. (s.f.). Correlation Coefficient. Recuperado 5 mayo, 2019, de <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html>
- [Passive vs Active Sensors in Remote Sensing]. (2016, 23 agosto). Recuperado 19 mayo, 2019, de <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/>
- COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON. (s.f.). Recuperado 10 mayo septiembre, 2019, de <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Valderrama, Fernando. (2007). Mediciones y presupuestos. Y otros A4 del proyecto según el CTE: pp 285-287



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Realización de cartografía agrícola mediante
análisis multitemporal de imágenes satélite y
cartografía catastral



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

II. PRESUPUESTO **ECONÓMICO**



ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1.	PRESUPUESTO DESGLOSADO	51
1.1	COSTE PERSONAL	51
1.2	COSTES DIRECTOS	52
1.3	COSTES INDIRECTOS.....	52
1.4	OTROS COSTES	53
1.4.1	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	53
1.4.2	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC).....	53



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Realización de cartografía agrícola mediante
análisis multitemporal de imágenes satélite y
cartografía catastral



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

1. PRESUPUESTO DESGLOSADO

Se detallan, a continuación, las horas dedicadas repartidas en tareas diferentes por el ingeniero en Geomática. También, se explicarán los costes directos e indirectos del proyecto.

1.1 COSTE PERSONAL

Tarea	Duración (h)
Búsqueda de información	40
<ul style="list-style-type: none"> Búsqueda de información Aprendizaje Software GvSIG Desktop y GvSIG Mobile 	20 20
Trabajo en campo	15
<ul style="list-style-type: none"> Visita a las parcelas del término municipal de Alboraya 	15
Tratamiento de las imágenes Sentinel-2	45
<ul style="list-style-type: none"> Descarga y procesamiento de las imágenes multiespectrales Sentinel-2 	45
Procesamiento de los datos y análisis	105
<ul style="list-style-type: none"> Gestión, análisis y tratamiento de los datos Obtención y comparación de los resultados 	85 20
Realización de la cartografía	5
<ul style="list-style-type: none"> Representación de los resultados mediante un mapa 	5
Redacción de la memoria	80
<ul style="list-style-type: none"> Redacción 	80
Supervisión y resolución de dudas	10

Tabla 9. Duración en horas de cada tarea realizada.

Ingeniero en Geomática: se encargará de realizar todo el trabajo. Llevará a cabo la toma de datos en campo, su procesado, análisis e interpretación de los resultados. Además, se encargará también de realizarla cartografía final.

Perfil	Número de horas	Coste unitario	Coste imputable
Ingeniero en Geomática	300	20 €/hora	6.000 €
		Total	6.000 €

Tabla 10. Costes de personal.

1.2 COSTES DIRECTOS

Los costes directos son gastos que se imputan al trabajo realizado por la elaboración y producción de los productos. En los costes directos intervienen las horas de dedicación de la persona que realiza el trabajo, los desplazamientos en caso de realizar alguna salida a campo, los materiales utilizados durante todo el proyecto, etc.

Los costes directos de este proyecto son los que se muestra en la siguiente tabla:

COSTES DIRECTOS			
Actividad	Recursos Humanos	Materiales	
Salida a campo	Ingeniero Geomática	Vehículo	30
Tratamiento, Procesamiento de los datos, Realización de la cartografía		Licencia Matlab	125
		Licencia ArcMap	781
Consultas y desarrollo del proyecto	2600		
Total, recursos humanos (€):		Total, Materiales (€):	936,25
		Total, Costes directos (€):	6936,25

Tabla 11. Costes directos
Fuente: Elaboración propia

Las bases para la obtención de los precios totales, tanto de los recursos humanos, como de los materiales son los siguientes:

- La salida a campo es de 15 horas. El precio que cobra un ingeniero en Geomática por horas se puede ver en la *tabla 10*.
- La realización del procesamiento de los datos y la cartografía son de 110 horas. (Ver *tabla 9*).
- Se ha dedicado 130 horas para las consultas y desarrollo del proyecto.
- Las licencias se cobran por las horas dedicadas hasta terminar el proyecto. Por tanto, se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$Duración_{trabajo} = 300 \text{ horas} = 1,875 \text{ meses}$$

- La licencia de Matlab cuesta 66.67 euros/mes por lo que si se multiplica ese precio por la dedicación mensual se obtiene como resultado el precio de la licencia de la *tabla 11*.
- La licencia de ArcMap cuesta 5000 euros/año que equivale a 416,67 euros/mes y multiplicado por las horas dedicadas mensuales se obtiene el precio que aparece en la *tabla 11*.

1.3 COSTES INDIRECTOS

El coste indirecto es el coste que afecta de forma indirecta al proceso productivo de un proyecto. Este coste no se puede aplicar directamente al trabajo que se va a realizar.

Los costes indirectos aproximados para el proyecto serían los que se muestra en la siguiente tabla.

COSTES INDIRECTOS			
Categoría	Año (€)	Mes (€)	Coste proyecto (€)
Seguro responsabilidad civil	2640	220	412,5
Alquiler Oficina	4800	400	750
Personal técnico y administrativo	600	50	93,75
Limpieza	60	100	187,5
Agua y luz	1200	100	187,5
Telefonía y ADSL	1200	100	187,5
Amortización equipo móvil (5 años)	50	93,75	175,78
Amortización equipo portátil (5 años)	200	375	703,13
Amortización material mobiliario (5 años)	300	562,5	1054,69
Licencias y softwares	259	21,58	40,47
Seguro oficina	300	25	46,88
Financiación	600	50	93,75
Riesgos por impagos	6000	500	937,5
Varios	1200	100	187,5
Total (€):	19409	2697,83	5058,44

Tabla 12. Costes indirectos

1.4 OTROS COSTES

1.4.1 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

El PEM es el importe del coste de los materiales utilizados en la ejecución del proyecto y de la mano de obra.

Por tanto, es la suma del coste total de los costes directos e indirectos. El precio sería: **11.994,69 euros.**

1.4.2 PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

Es el precio que se cobra al cliente por los materiales utilizados durante el proceso productivo y de la mano de obra del proyecto. En este importe se obtiene del PEM y se calculan 13% de Gastos Generales y 10% de beneficio industrial sobre ese valor.

Presupuesto de ejecución material	11.994,69 euros
13% Gastos Generales	1.559,31 euros
<u>10% Beneficio Industrial</u>	<u>1.199,47 euros</u>
PEC:	14.753,47 euros

El presupuesto total del proyecto, aplicando el IVA del 21% sería de: **17.851,69 euros**

III. ANEJOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Realización de cartografía agrícola mediante
análisis multitemporal de imágenes satélite y
cartografía catastral



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



PLANO DE SITUACIÓN



SIMBOLOGÍA

VÍAS DE COMUNICACIÓN

- Autovía/Autopista
- FF.CC
- Carretera convencional
- Urbano
- Caminos

HIDROLOGÍA

- Acequia
- Mar Mediterráneo
- Carraixet
- Construcciones
- Límites Municipales

CULTIVOS

- Calabaza
- Cebolla
- Cebollín
- Chufa
- Col
- Patata
- Sin clasificar

Fuente: Catastro. Asignación de uso por teledetección

CARTOGRAFÍA AGRÍCOLA DE ALBORAYA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

ESCALA:
1/10.000

AUTOR:
GLENE CLAVICILLAS CABALTERA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía

FECHA:
SEPTIEMBRE 2019

Proyección Universal Transversal de Mercator
ETRS 1989 UTM Zona 30N

PLANO Nº 1

Escala 1:10000

