



CONTROL DE CALIDAD OPERACIONAL DE PROCESADOR DE INDICADORES AGRONÓMICOS DE ALTA RESOLUCIÓN ESTIMADOS CON DATOS DE SATÉLITES SENTINEL 2 Y LANDSAT 8.

Singh Kaur, Prithi pal

Tutor: Vidal Pantaleoni, Ana

Tutor externo: Sánchez Zapero, Jorge

Trabajo Fin de Máster presentado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universitat Politècnica de València, para la obtención del Título de Máster en Ingeniería Telecomunicación

Curso 2020-21

Valencia, 7 de septiembre de 2020



Agradecimientos

Este proyecto ha sido desarrollado en colaboración con la empresa EOLAB. Quería dar las gracias a la empresa EOLAB por ofrecerme esta oportunidad de elaborar mi TFM con ellos. Agradecer también a los compañeros en EOLAB que me han ayudado en el proyecto y particularmente mostrar mi agradecimiento a mi tutor en la empresa, Jorge Sánchez Zapero por su constante apoyo en el desarrollo del proyecto.

Finalmente, también dar las gracias a mi tutor UPV, Ana Vidal Pantaleoni por estar presente siempre que se ha necesitado su ayuda.



Resumen

Nuestro proyecto tiene como objetivo la verificación y validación de una cadena de procesamiento encargada de estimar indicadores agronómicos de alta resolución espacio-temporal a partir de datos de satélites Sentinel-2 y Landsat-8 a través de MATLAB. Dicho procesador implementa algoritmos para generar índices de vegetación (NDVI), variables biofísicas (LAI, FAPAR, FCOVER) y termodinámicas (LST, ET). Los algoritmos fueron validados y entrenados con datos verdad-terreno para el periodo 2018-2019, por lo que se consideran dicho año como periodo de referencia. A partir de 2020 se generan los productos en tiempo casi real (near real time), y el presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la calidad de los nuevos productos generados tomando como referencia el periodo validado. La monitorización y evaluación se realiza en dos sitios piloto (Barrax y Moncada). Para ello, se evaluará la consistencia espacio-temporal de los nuevos productos generados de forma semiautomática. Para ello, se realizarán las siguientes tareas: i) generador de estadísticos del volumen de datos generados en cada iteración del procesador; ii) evaluación de la consistencia espaciotemporal de los nuevos datos, tomando como referencia el periodo validado (2018-2019).

Resum

El nostre projecte té com a objectiu la verificació i validació d'una cadena de processament encarregada d'estimar indicadors agronòmics d'alta resolució espacio-temporal a partir de dades de satèl·lits Sentinel-2 i Landsat-8 a través de MATLAB. Aquest processador implementa algorismes per a generar índexs de vegetació (NDVI), variables biofísiques (LAI, FAPAR, FCOVER) i termodinàmiques (LST, ET). Els algorismes van ser validats i entrenats amb dades veritat-terreny per al període 2018-2019, per la qual es considera aquest any com a període de referència. A partir de 2020 es generen els productes en temps quasi real (near real time), i el present treball té l'objectiu d'avaluar la qualitat dels nous productes generats prenent com a referència el període validat. La monitorització i avaluació es realitza en dos llocs pilot (Barrax i Moncada). Per a això, s'avaluarà la consistència espacio-temporal dels nous productes generats de forma semi-automàtica. Per a això, es realitzaran les següents tasques: i) generador d'estadístics del volum de dades generades en cada iteració del processador; ii) avaluació de la consistència espacio-temporal de les noves dades, prenent com a referència el període validat (2018-2019).

Abstract

The project aims to verify and validate a processing chain in charge of estimating high spatial-temporal resolution agronomic indicators from Sentinel-2 and Landsat-8 satellite data through MATLAB. The processor implements algorithms to generate vegetation indices (NDVI), biophysical variables (LAI, FAPAR, FCOVER) and thermodynamics (LST, ET). The algorithms were validated and trained with truth-ground data for the 2018-2019 period, so that year is considered as the reference period. Starting in 2020, the products are generated in near real time (near real time), and the present work aims to evaluate the quality of the new products generated taking the validated period as a reference. Monitoring and evaluation is carried out at two pilot sites (Barrax and Moncada). To do this, the space-time consistency of the new semi-automatically generated products will be evaluated. To do this, the following tasks will be carried out: i) generator of statistics of the volume of data generated in each iteration of the processor; ii) evaluation of the spatial-temporal consistency of the new data, taking as reference the validated period (2018-2019).



Índice

| | | |
|-------------|--|----|
| Capítulo 1. | Introducción | 8 |
| 1.1 | Contexto | 8 |
| 1.2 | Objetivo..... | 10 |
| 1.3 | Conceptos teóricos previos..... | 11 |
| 1.3.1 | Introducción a la teledetección..... | 11 |
| 1.3.2 | Definiciones de parámetros | 14 |
| 1.3.3 | Landsat-8 y Sentinel-2 | 16 |
| 1.3.4 | Sistema de Coordenadas Geográficas (UTM)..... | 17 |
| 1.4 | Metodología | 17 |
| 1.4.1 | Proyecto Previo | 17 |
| 1.4.2 | Cronograma del proyecto | 18 |
| 1.4.3 | MATLAB | 18 |
| 1.4.4 | Zonas de estudio y muestreo | 19 |
| 1.4.5 | Metodología utilizada para el control de calidad | 21 |
| Capítulo 2. | Desarrollo..... | 23 |
| 2.1 | Estructura del programa implementado | 23 |
| 2.2 | Las funciones del programa | 23 |
| 2.2.1 | Bloque 1 | 23 |
| 2.2.2 | Bloque 2 | 34 |
| Capítulo 3. | Ejemplos de aplicación..... | 38 |
| 3.1 | Zona de estudio Barrax | 38 |
| 3.1.1 | Mapas e Histogramas para el estudio de consistencia espacial..... | 38 |
| 3.1.2 | Perfiles temporales para el estudio de consistencia temporal | 50 |
| 3.1.3 | Estadísticas | 54 |
| 3.2 | Zona de estudio Moncada | 55 |
| 3.2.1 | Mapas e Histogramas para el estudio de consistencia espacial..... | 55 |
| 3.2.2 | Perfiles temporales para el estudio de consistencia temporal | 74 |
| 3.2.3 | Estadísticas | 77 |
| 3.3 | Conclusiones de los resultados obtenidos | 78 |
| Capítulo 4. | Conclusiones y propuesta de futuros trabajos | 79 |
| Capítulo 5. | Bibliografía..... | 80 |
| Capítulo 6. | ANEXO I: MANUAL DE USUARIO | 82 |
| 6.1 | Introducción | 82 |
| 6.2 | Ficheros y funciones del programa | 82 |

| | | |
|-----|-------------------------------|----|
| 6.3 | Resultados del programa | 83 |
|-----|-------------------------------|----|

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. 1 – El incremento de CO2 durante los últimos años..... | 8 |
| Figura 1. 2 - Relación entre Temperatura global y dióxido de carbono desde 1880..... | 9 |
| Figura 1. 3 - Funcionamiento de un sistema de teledetección pasivo. | 12 |
| Figura 1. 4 - Espectro Electromagnético..... | 13 |
| Figura 1. 5 - Espectro de vegetación y suelo..... | 14 |
| Figura 1. 6 - Cronograma del proyecto | 18 |
| Figura 1. 7 - Mapa de zona de estudio Barrax..... | 19 |
| Figura 1. 8 - Mapa de zona de estudio Moncada..... | 20 |
| | |
| Figura 2. 1 - Flujograma del programa | 23 |
| Figura 2. 2 - Función “ftpobj” de MATLAB | 24 |
| Figura 2. 3 – Función “gettiffinfo” de MATLAB..... | 25 |
| Figura 2. 4 – Ejemplo de características principales de la cabecera de una imagen L8 Barrax (LAI) | 25 |
| Figura 2. 5 – Ejemplo de ejecución de la función “histogram” del MATLAB..... | 26 |
| Figura 2. 6 - Distribución de las carpetas OUTPUT para la zona de Barrax (Images.m) | 28 |
| Figura 2. 7 - Distribución de las carpetas OUTPUT para la zona de Moncada (Images.m) | 29 |
| Figura 2. 8 - Función “pretile” del MATLAB..... | 30 |
| Figura 2. 9 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Barrax (TP_Barrax.m) | 31 |
| Figura 2. 10 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Moncada (TP_Moncada.m) | 34 |
| Figura 2. 11 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Barrax (Quality_Control.m)..... | 36 |
| Figura 2. 12 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Moncada (Quality_Control.m)..... | 37 |
| | |
| Figura 3. 1 – Ejemplo de ejecución fichero Images.m para el periodo de referencia zona Barrax | 38 |
| Figura 3. 2 - Ejemplo de ejecución fichero Quality_Control.m para enero de 2020 zona Barrax | 38 |
| Figura 3. 3 - Mapa de LAI fecha 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 39 |
| Figura 3. 4 - Mapa de LAI fecha 6 de enero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 | 39 |
| Figura 3. 5 - Mapa de FAPAR fecha 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 40 |
| Figura 3. 6 - Mapa de FAPAR fecha 6 de enero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 | 40 |

| | |
|--|----|
| Figura 3. 7 - Mapa de FCOVER fecha 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 .. | 41 |
| Figura 3. 8 - Mapa de FCOVER fecha 6 de enero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 .. | 41 |
| Figura 3. 9 - Histograma comparativo BIO (LAI, FAPAR y FCOVER) entre fecha 6 de enero de 2020 y 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 42 |
| Figura 3. 10 - Mapa de LAI fecha 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2..... | 43 |
| Figura 3. 11 - Mapa de LAI fecha 5 de febrero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2..... | 43 |
| Figura 3. 12 - Mapa de FAPAR fecha 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 44 |
| Figura 3. 13 - Mapa de FAPAR fecha 5 de febrero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 | 44 |
| Figura 3. 14 - Mapa de FCOVER fecha 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 45 |
| Figura 3. 15 - Mapa de FCOVER fecha 5 de febrero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 | 45 |
| Figura 3. 16 - Histograma comparativo BIO (LAI, FAPAR y FCOVER) entre fecha 2 de febrero de 2020 y 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2..... | 46 |
| Figura 3. 17 - Mapa de LAI fecha 27 de MARZO de 2018 para la zona de Barrax satélite S2.. | 46 |
| Figura 3. 18 - Mapa de LAI fecha 26 de MARZO de 2020 para la zona de Barrax satélite S2.. | 47 |
| Figura 3. 19 - Mapa de FAPAR fecha 27 de MARZO de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 47 |
| Figura 3. 20 - Mapa de FAPAR fecha 26 de MARZO de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 | 48 |
| Figura 3. 21 - Mapa de FCOVER fecha 27 de MARZO de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 48 |
| Figura 3. 22 - Mapa de FCOVER fecha 26 de MARZO de 2020 para la zona de Barrax satélite S2 | 49 |
| Figura 3. 23 - Histograma comparativo BIO (LAI, FAPAR y FCOVER) entre fecha 3 de marzo de 2020 y 27 de marzo de 2018 para la zona de Barrax satélite S2 | 49 |
| Figura 3. 24 - Ejemplo de ejecución fichero TP_Barrax.m para el periodo de referencia zona Barrax | 50 |
| Figura 3. 25 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP1 representado hasta 31 de julio de 2021..... | 50 |
| Figura 3. 26 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP6 representado hasta 31 de julio de 2021..... | 51 |
| Figura 3. 27 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP10 representado hasta 31 de julio de 2021..... | 52 |
| Figura 3. 28 - Perfil del número de pixeles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite S2 | 53 |
| Figura 3. 29 - Perfil de percentiles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite S2 | 54 |
| Figura 3. 30 - Estadísticas de los mapas generados hasta 31 de julio de 2021 para el satélite S2 zona Barrax | 55 |
| Figura 3. 31 - Ejemplo de ejecución fichero Images.m para el periodo de referencia zona Moncada | 55 |



| | |
|---|----|
| Figura 3. 32 - Ejemplo de ejecución fichero Quality_Control.m para enero de 2020 zona Moncada | 56 |
| Figura 3. 33 - Mapa de LAI fecha 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 ... | 56 |
| Figura 3. 34 - Mapa de LAI fecha 01 de enero de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 ... | 57 |
| Figura 3. 35 - Mapa de FAPAR fecha 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 57 |
| Figura 3. 36 - Mapa de FAPAR fecha 1 de enero de 2020 para la zona de Moncada satélite S258 | |
| Figura 3. 37 - Mapa de FCOVER fecha 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 58 |
| Figura 3. 38 - Mapa de FCOVER fecha 1 de enero de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 59 |
| Figura 3. 39 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 1 de enero de 2020 y 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 59 |
| Figura 3. 40 - Mapa de LAI fecha 7 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 60 |
| Figura 3. 41 - Mapa de LAI fecha 11 de marzo de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 .. | 60 |
| Figura 3. 42 - Mapa de FAPAR fecha 7 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 61 |
| Figura 3. 43 - Mapa de FAPAR fecha 11 de marzo de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 61 |
| Figura 3. 44 - Mapa de FCOVER fecha 7 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 62 |
| Figura 3. 45 - Mapa de FCOVER fecha 11 de marzo de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 62 |
| Figura 3. 46 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 11 de marzo de 2020 y 121 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 63 |
| Figura 3. 47 - Mapa de LAI fecha 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 63 |
| Figura 3. 48 - Mapa de LAI fecha 29 de junio de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 64 |
| Figura 3. 49 - Mapa de FAPAR fecha 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 64 |
| Figura 3. 50 - Mapa de FAPAR fecha 29 de junio de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 65 |
| Figura 3. 51 - Mapa de FCOVER fecha 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 65 |
| Figura 3. 52 - Mapa de FCOVER fecha 29 de junio de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 66 |
| Figura 3. 53 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 29 de junio de 2020 y 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2..... | 66 |
| Figura 3. 54 - Mapa de LAI fecha 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 67 |
| Figura 3. 55 - Mapa de LAI fecha 12 de septiembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 67 |
| Figura 3. 56 - Mapa de FAPAR fecha 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 68 |

| | |
|---|----|
| Figura 3. 57 - Mapa de FAPAR fecha 12 de septiembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 68 |
| Figura 3. 58 - Mapa de FCOVER fecha 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 69 |
| Figura 3. 59 - Mapa de FCOVER fecha 12 de septiembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 69 |
| Figura 3. 60 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 12 de septiembre de 2020 y 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2..... | 70 |
| Figura 3. 61 - Mapa de LAI fecha 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 70 |
| Figura 3. 62 - Mapa de LAI fecha 26 de diciembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 71 |
| Figura 3. 63 - Mapa de FAPAR fecha 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 71 |
| Figura 3. 64 - Mapa de FAPAR fecha 26 de diciembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 72 |
| Figura 3. 65 - Mapa de FCOVER fecha 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 72 |
| Figura 3. 66 - Mapa de FCOVER fecha 26 de diciembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2 | 73 |
| Figura 3. 67 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 26 de diciembre de 2020 y 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2 | 73 |
| Figura 3. 68 - Ejemplo de ejecución fichero TP_Moncada.m para el periodo de referencia zona Moncada..... | 74 |
| Figura 3. 69 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP5 representado hasta 31 de julio de 2021..... | 74 |
| Figura 3. 70 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP15 representado hasta 31 de julio de 2021..... | 75 |
| Figura 3. 71 – Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP20 representado hasta 31 de julio de 2021..... | 75 |
| Figura 3. 72 – Perfil del número de píxeles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite S2 | 76 |
| Figura 3. 73 - Perfil de percentiles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite | 77 |
| Figura 3. 74 - Estadísticas de los mapas generados hasta 31 de julio de 2021 para el satélite S2 zona Moncada | 77 |
| | |
| Figura 6. 1 - Funciones y ficheros del programa..... | 82 |
| Figura 6. 2 - Ejemplo de ejecución para Barrax (Images.m)..... | 82 |
| Figura 6. 3 - Ejemplo de ejecución para Barrax (TP_Barrax.m)..... | 83 |
| Figura 6. 4 - Ejemplo de ejecución para Moncada (TP_Moncada.m)..... | 83 |
| Figura 6. 5 - Ejemplo de ejecución para Barrax (Quality_Control.m)..... | 83 |
| Figura 6. 6 - Organización de las carpetas de los resultados del programa..... | 84 |



Lista de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. 1 - Ejemplos de aplicaciones de sistemas de teledetección para diferentes áreas. | 14 |
| Tabla 1. 2 – Intervalo de valores validos de los parámetros | 16 |
| Tabla 1. 3 - CPs de la zona de Barrax | 20 |
| Tabla 1. 4 – CPs de la zona de Moncada..... | 21 |
| Tabla 2. 1 - Casos de acceso al servidor EOLAB | 24 |
| Tabla 2. 2 - Característica de las imágenes geográficas..... | 26 |

Lista de acrónimos

CO₂ - Dióxido de Carbono
EOLAB - Laboratorio de Observación de la Tierra (Earth Observation Laboratory)
ESA - Agencia Espacial Europea
LAI - Índice de Área Foliar
FAPAR - Fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa Absorbida
FCOVER - Fracción de Cobertura Vegetal
NDVI - Índice Diferencial Normalizado De Vegetación
BOA - Fondo de la atmósfera (Bottom of atmosphere)
TOA - Cima de la atmósfera (Top of atmosphere)
SEBI - Índice de equilibrio energético superficial (Surface Energy Balance Index)
LST - Temperatura de la superficie terrestre (Land Surface Temperature)
ET - EvapoTranspiración (EvapoTranspiration)
SAIL - Scattering by Arbitrarily Inclined Leaves
GMES - Monitoreo Global para el Medio Ambiente y la Seguridad
IDE - Entorno de Desarrollo Integrado
ISPRS - International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
IPCC - Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
MATLAB - Laboratorio de Matrices (MATrix LABoratory)
TIC - Tecnologías de la Información y la Comunicación
L8 - Landsat-8
L8HS2 - Landsat-8 Harmonizado a Sentinel-2
S2 - Sentinel-2
CP - Punto de control (Control Point)
ET_p - EvapoTranspiración Potencial (Potential EvapoTranspiration)
NIR - Infrarrojo cercano (Near-InfraRed)
SWIR - Infrarrojos de onda corta (Short-Wave Infrared)
TIR - Thermal InfraRed
OLI - El generador de imágenes de la tierra operativa (The Operational Land Imager)
TIRS - Sensor infrarrojo térmico (Thermal InfraRed Sensor)
OGC - Open Geospatial Consortium
Geo TIFF - Georeferencing Tagged Image File Format
NPP - Net Primary Production

Capítulo 1. Introducción

1.1 Contexto

Este proyecto ha sido desarrollado en colaboración con la empresa EOLAB S.L. Es una empresa spin-off de la Universidad de València, que desarrolla productos y soluciones innovadoras de geo información ambiental basadas en tecnologías de observación de la Tierra y de utilidad en materia de medio ambiente, desarrollo sostenible y cambio global. El objetivo de esta empresa es hacer control de calidad de productos geo-biofísicos, comercialización de imágenes de satélite y preprocesado de datos de satélite y avión, desarrollo de productos y soluciones avanzadas basadas en teledetección y desarrollar sistemas de información geográfica y TIC.

El medioambiente de nuestro planeta ha sido atacado en las últimas décadas por la humanidad causando graves problemas. El calentamiento global de la tierra es el problema fundamental hoy en día que ha sido causado por las actividades humanas junto con otros problemas como exigüidad de agua, contaminación, deforestación, hábitats enteros destruidos o, especies extinguidas.

Las emisiones de CO₂ son una de las causas del cambio climático, estas emisiones son debidas por una mayor industrialización y por la quema de combustibles fósiles, que está sobrepasando ya 416 ppm (Figura 1.1) de volumen. En la biosfera se están observando modificaciones causadas por el cambio climático a escala global y regional.

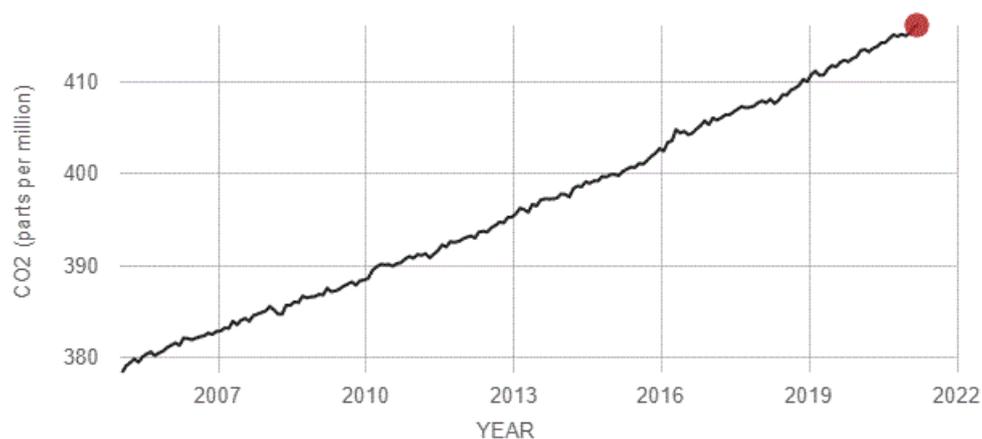


Figura 1. 1 – El incremento de CO₂ durante los últimos años.

Fuente: climate.nasa.gov

Estas modificaciones en la biosfera se ven reflejados como un mayor efecto invernadero que está provocando efectos en el medio ambiente como, por ejemplo, el aumento de la temperatura global, el ascenso del nivel del mar o el aceleramiento del deshielo en las zonas con temperaturas bajas, entre otras consecuencias. Son de enorme complejidad y escala todos los cambios que se están desarrollando en la, que se tienen un gran efecto en hidrología, climatología, y agricultura, siendo esta última el ámbito de este TFM.

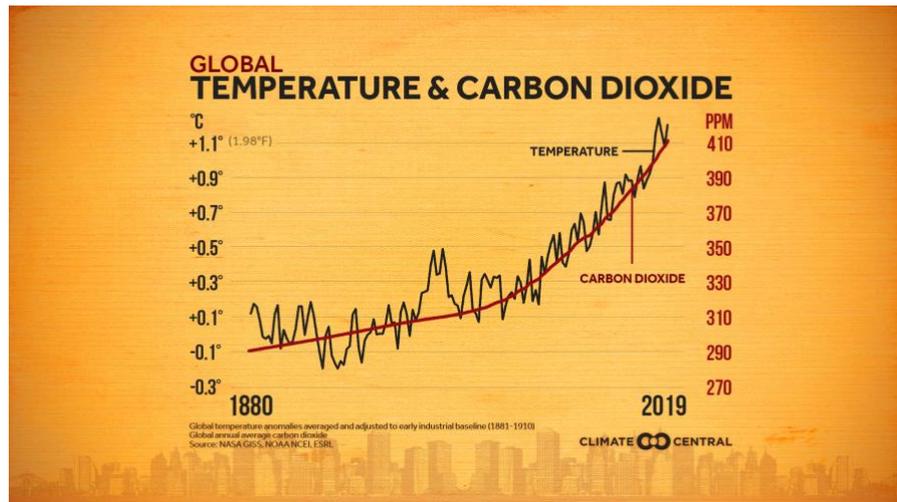


Figura 1. 2 - Relación entre Temperatura global y dióxido de carbono desde 1880.
Fuente: www.climatecentral.org

Ante el continuo ascenso de la temperatura global (Figura 1.2), los miembros científicos de IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, www.ipcc.ch) han fijado como meta conservar el calentamiento global menor que 2°C, entre tanto, continuaran con las labores para restringir el ascenso de la temperatura global a 1,5°C.

La información medioambiental por los motivos descritos anteriormente es de vital importancia. Asiste a entender cómo está cambiando nuestro planeta y su clima, el papel que desempeñan las actividades humanas en estos cambios y cómo estos afectaran en nuestra vida diaria. Las acciones de todos y de las decisiones que se toman hoy sobre las políticas medioambientales dependen más que nunca de ellas la salud y la seguridad de las generaciones futuras.

Para tomar las medidas acertadas, los ciudadanos y las empresas deben obtener información actualizada y fiable sobre cómo nuestro planeta y su clima están cambiando. Copernicus, (<http://copernicus.eu>) el programa europeo de observación de la Tierra elaborado por la ESA y la Comisión Europea, anteriormente denominada como Monitoreo Global para el Medio Ambiente y la Seguridad (GMES), ofrece dicha información.

Copernicus procesa los datos recogidos de múltiples fuentes tales como satélites de observación de la tierra y sensores in situ como estaciones terrestres, sensores aéreos y marítimos a través de un conjunto complejo de sistemas que albergan, para así proporcionar a los usuarios una información fiable y actualizada a través de un conjunto de servicios relacionados con el medioambiente y la seguridad que se distinguen en áreas como monitorización de las aguas, monitorización de la atmósfera, monitorización de la superficie terrestre, seguridad, servicio de aplicación para emergencias y cambio climático.

En este proyecto se utilizan imágenes de los satélites Sentinel-2 y Landsat-8 que son de libre acceso. La principal fuente de datos será Sentinel-2/MSI (Multi Spectral Instrument), de alta resolución espacial. Los datos de Landsat se aprovecharán como base para ampliar frecuencia temporal, ampliamente utilizados para diferentes aplicaciones tales como la agricultura, evaluación de los recursos naturales, el seguimiento de la vegetación, etc.

Para tratar de entender de modo universal el funcionamiento de la biosfera una pieza muy significativa es el análisis de las variables biofísicas de la cubierta vegetal y su interactividad con el resto de componentes de la superficie de la Tierra, que ayuda a predecir hacia a que sentido se conduce el cambio climático, y a prevenir potenciales fenómenos, así mismo de procurar maximizar las capacidades presentes para atenuar sus impactos, y ajustarse a los potenciales cambios que puedan ocurrir se, por ejemplo, en la fenología de la cubierta vegetal.

Las variables fundamentales que definen la actuación y condición de la superficie vegetal terrestre pueden facilitar a cuantificar datos de enormes extensiones para monitorizar el progreso de los cultivos, las potenciales anomalías de crecimiento de las plantas, o impulsar la administración del agua de regadío.

La observación de la Tierra mediante el uso operativo de sensores a bordo de satélites orbitando en la Exosfera, ofrece la posibilidad de monitorizar los fenómenos climatológicos y meteorológicos terrestres, siendo estos sensores y sus productos cada vez más detallados, precisos y fiables. Paralelamente las tecnologías de la información han ido desarrollándose de una forma exponencial, siendo de gran uso y manejo para los seres humanos. Llegados a este punto, nos encontramos en un momento clave para unir ambas tecnologías con la finalidad de ofrecer al usuario final consejo e información de gran utilidad para la gestión eficiente de su cultivo. En el caso de la agrotecnología, el conocimiento y control de las variables biofísicas es de vital importancia para la óptima gestión de los recursos naturales que rodean al cultivo (p.ej. recursos hídricos). Actualmente la observación de la Tierra mediante los satélites ESA Sentinel-1 (A y B), Sentinel-2 (A y B), Sentinel-3 (A y B), apoyados con los datos norteamericanos de Landsat 8 (OLI/TIRS), ofrecen una oportunidad sin precedentes de desarrollar productos biofísicos que sirvan de fuente de alimentación para aplicaciones geo-informatizadas de gestión eficiente de la agricultura. Estos datos satelitales son distribuidos de forma totalmente gratuita y dadas las características de los sensores, y con el perfecto conocimiento del estado del arte de las investigaciones científicas sobre estas variables biofísicas, la monitorización y seguimiento en tiempo real del estado de los cultivos, a resoluciones desde 10 m y a una óptima frecuencia temporal (5 días), es ahora posible gracias a la sinergia de dichos sistemas de percepción remota.

Llegados a este punto de introducción debemos resaltar lo que es la validación de un producto de satélite. En términos de productos terrestres derivados de satélites, la validación es el procedimiento para evaluar su precisión y cuantificar sus incertidumbres mediante comparaciones analíticas con datos de referencia. La validación también constituye el medio para garantizar la conformidad de los productos con los requisitos del usuario y ayuda a los usuarios finales a comprender hasta qué punto el producto es adecuado para sus aplicaciones específicas. El Aseguramiento de la Calidad Científica constituye el medio para garantizar la conformidad de los productos con los requisitos del usuario, y los nuevos productos deben pasar una evaluación científica exhaustiva antes de ser entregados a los usuarios. En general, incluye dos aspectos: (1) la validación exhaustiva de los productos basada en productos de archivo, y (2) el seguimiento rutinario (operativo) de los productos continuos entregados.

EOLAB SPAIN S.L. (<https://eolab.es/>) la empresa con la que se ha colaborado para realizar este proyecto es una empresa que cuenta con más de 15 años de experiencia en la gestión y ejecución de proyectos I+D orientados al servicio y mejora de la agricultura (<https://eolab.es/projects/>). Es por tanto una empresa altamente cualificada para afrontar los retos científicos y tecnológicos de la sociedad.

1.2 Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar una herramienta software en la plataforma MATLAB para realizar un control de calidad de los nuevos productos generados en tiempo casi real de indicadores agronómicos de alta resolución espaciotemporal a partir de observaciones de los satélites Sentinel-2 y Landsat-8. Los productos fueron validados y entrenados con datos verdad-terreno para el periodo 2018-2019, por lo que se considera dicho periodo como referencia. A partir de 2020 se generan los productos en tiempo casi real (near real time), y el presente trabajo tiene el objetivo de evaluar la calidad de los nuevos productos generados tomando como referencia el periodo validado a través de la herramienta software implementada en MATLAB. La monitorización y evaluación se realiza en dos sitios piloto (Barrax y Moncada). Para ello, se

evaluará la consistencia espaciotemporal de los nuevos productos generados de forma semiautomática.

Para ello, se realizarán las siguientes tareas:

- Evaluación de la consistencia espaciotemporal de los nuevos productos, tomando como referencia el periodo validado (2018-2019).
- Generador de estadísticas del volumen de datos generados en cada iteración del procesador.

1.3 Conceptos teóricos previos

1.3.1 Introducción a la teledetección

La teledetección definida por International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) como la ciencia y tecnología que intenta capturar, procesar y analizar imágenes, combinando otros datos físicos de la Tierra y los planetas, por medio de sensores localizados en el espacio, aerotransportados o a nivel del suelo. Las observaciones llevadas a cabo a través de sensores remotos aerotransportados o en el espacio en sinergia con medidas in-situ y con sensores portátiles componen el pilar para un considerable número de aplicaciones, como la cartografía de actividades humanas y naturales, control de procesos físicos y empíricos, atenuación y evaluación de desastres, evaluación e identificación de recursos no renovables, supervisión de variaciones temporales en la meteorología, mar o corteza terrestre, y para gran diversidad de aplicaciones más.

Las exposiciones espaciales y semánticas de objetos, características y procedimientos son ocasionados de mediciones uni-, bi- o tridimensionales (en vinculación con una referencia temporal) y de la interpretación de sus atributos de señal electromagnética y acústica usando tanto instrumentos activos y pasivos ópticos, termales y de microondas como dispositivos de sonido.

[1]

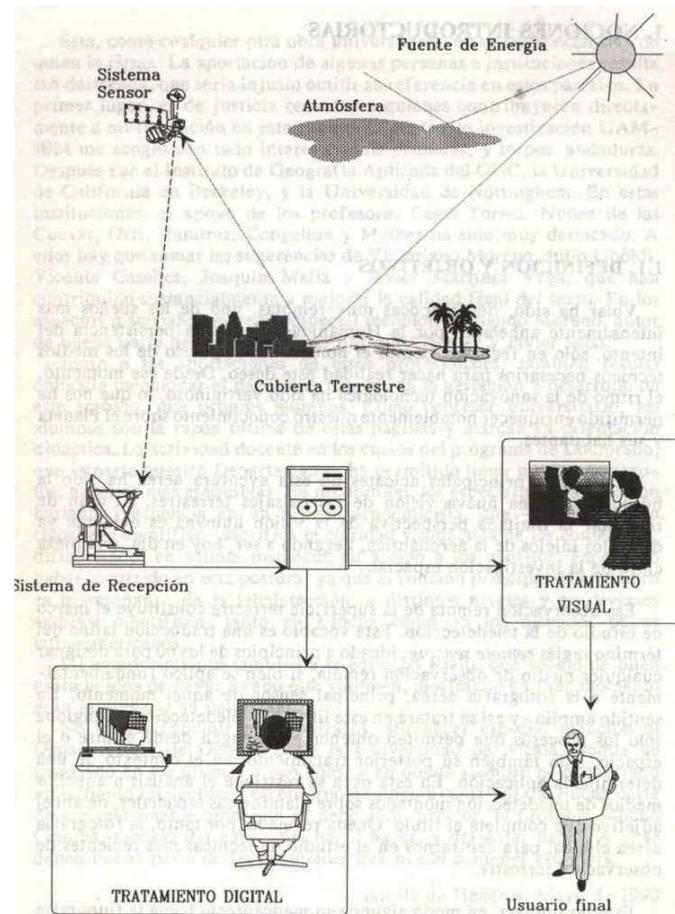


Figura 1. 3 - Funcionamiento de un sistema de teledetección pasivo.

Fuente: www.researchgate.net

Al ser la energía electromagnética el pilar de todos los sistemas de teledetección es indispensable para su operativo la presencia de una fuente que provea este tipo de energía. El sol es la fuente principal de radiación en sistemas pasivos (Figura 1.3), donde la energía se halla repartida a lo largo del espectro electromagnético.

En la atmósfera, con antelación a su interactividad con la superficie terrestre, esta energía se encuentra expuesta a alteraciones de intensidad y de distribución espectral. Dependiendo del estado de la vegetación, la cantidad de agua que alberga, su nivel de desarrollo, la distribución, el tipo de vegetación, etc., ésta refleja de distinta manera la energía electromagnética incidente. Tras la interacción, la energía reflejada regresa mediante la atmósfera siendo, modificada de nuevo antes de llegar hasta el sensor, donde por último es captada.

Finalmente se obtiene una imagen digital como resultado final de la adquisición de datos por parte de un satélite. La imagen digital es una representación de la superficie de la Tierra a través de una matriz numérica, de modo que cada componente de dicha matriz es un punto imagen o píxel y su valor numérico describe la intensidad de radiación obtenida por el sensor proveniente de la correspondiente parte de superficie terrestre.

Los sensores empleados operan en la zona del espectro visible y diversas partes del infrarrojo (Figura 1.4). En concreto las bandas del verde, rojo, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de longitud de onda corta (SWIR). Estas bandas ayudan a obtener información sobre parámetros biofísicos como el contenido de clorofila, el área foliar y el contenido de agua de la vegetación. Y la banda de infrarrojo térmico (TIR) se utiliza para obtener los parámetros de temperatura de la superficie terrestre.

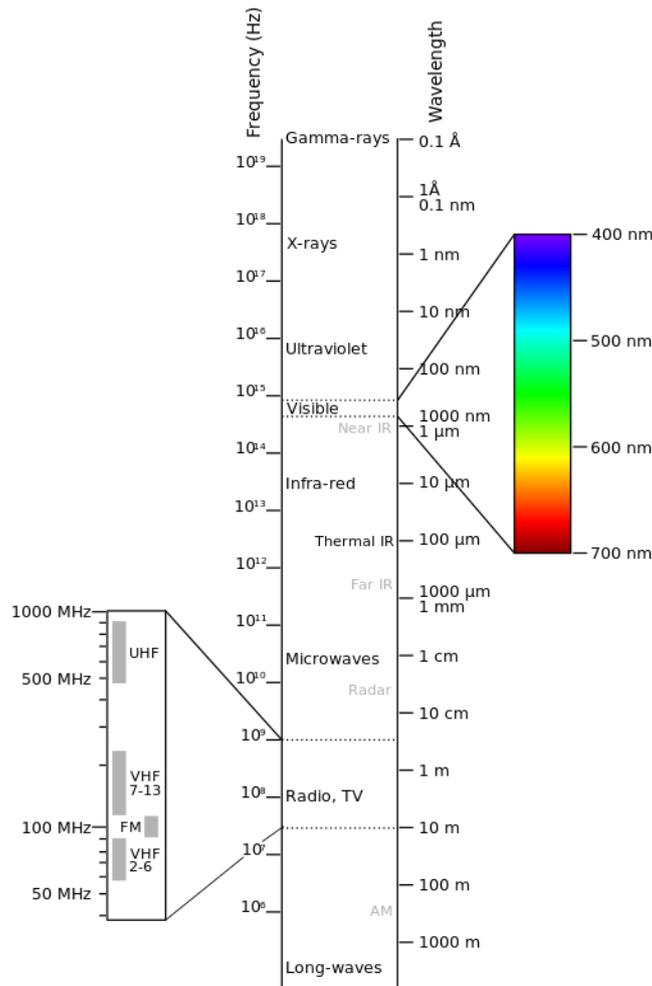


Figura 1. 4 - Espectro Electromagnético.

Fuente: semiautomaticclassificationmanual-v5.readthedocs.io/es/latest/remote_sensing.html

La teledetección permite monitorizar la superficie de la Tierra desde el espacio, permitiendo lograr un conocimiento a magnitud universal de las variaciones que se generan en la biosfera. Los satélites de observación de la Tierra han posibilitado disponer de información a distancia de la superficie del planeta, incluso de puntos poco alcanzables al ser humano y así impedir el trabajo de recaudación de información in situ, mucho más lenta, costosa y de carácter local, aparte de poder poseer de datos de todo el planeta con una cierta frecuencia temporal.

A continuación, se presentan algunas aplicaciones que son posibles adquirir mediante la teledetección para diferentes áreas temáticas:

| Área | Aplicaciones |
|--------------------|--|
| Agua | Estudio de calidad de agua, Manejo de recursos hídricos, etc. |
| Agricultura | Obtención de mapas de los bosques de la Tierra, Análisis de cultivos, etc. |
| Atmósfera | Estudio de la calidad de aire, Análisis meteorológico, Estudios sobre los cambios en la cubierta vegetal, etc. |

| | |
|--|---|
| Cobertura vegetal | Cartografía de zonas con riesgo de degradación, Cartografía áreas quemadas y Riesgo, y detección de incendios, etc. |
| Nieve y hielo | Estudio de capas de hielo y nieve, Estudio del comportamiento del hielo marino, etc. |
| Planificación del territorio | Análisis y control de la humedad presente en el suelo, Valoración de expansión urbanística, etc. |
| Medioambiente y Desastres naturales | Rastreo de zonas con alto valor ecológico, Administración post-desastres (corrimiento de tierra, sequías, granizos, erupciones, huracanes), Pérdidas térmicas, etc. |
| Océanos y costas | Geomorfología costera, Estudio de la variabilidad estacional y espacial de las áreas de pesca, Mediciones de la temperatura de la superficie del mar, etc. |

Tabla 1. 1 - Ejemplos de aplicaciones de sistemas de teledetección para diferentes áreas.

1.3.2 Definiciones de parámetros

Antes de definir los parámetros de los cuales se generan productos, que son índices de vegetación (NDVI), variables biofísicas (LAI, FAPAR, FCOVER) y termodinámicas (LST, ET) cabe presentar en la figura siguiente el espectro de vegetación y suelo:

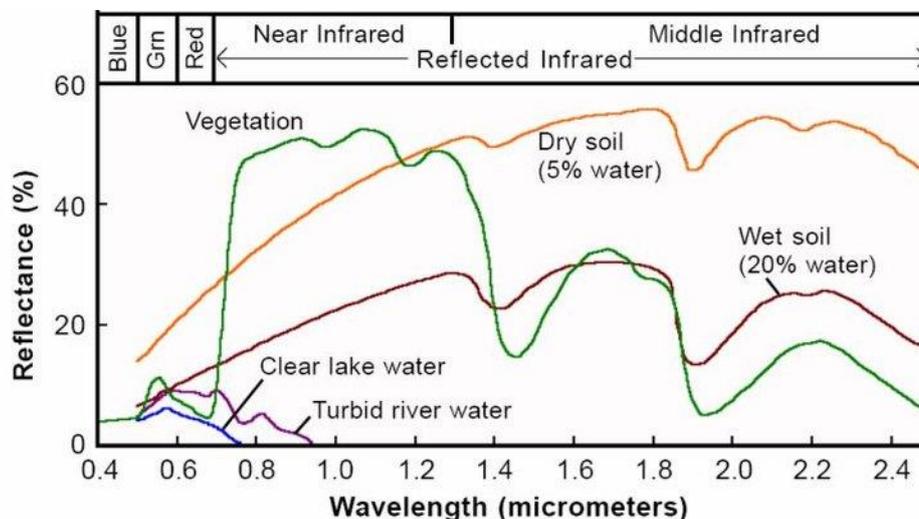


Figura 1. 5 - Espectro de vegetación y suelo

Fuente: www.gidahatari.com

Se generan productos de los parámetros de vegetación LAI, FAPAR y FCOVER, siendo LAI y FAPAR variables climáticas esenciales [GCOS#200] [2].

- **LAI (Índice de área foliar):** Se define como el área exterior total de las hojas por unidad de área horizontal que se encuentre debajo de la cubierta. Esta definición considera la forma de las hojas [3]. Esta variable cuantifica la superficie foliar por unidad de superficie, es decir, hace referencia a la cantidad de vegetación repartida verticalmente. En la práctica, el LAI evalúa el grosor de la cubierta vegetal.

El valor de LAI calculado por teledetección está influido por todos los componentes verdes de la escena, incluido el sotobosque en zonas forestales. Los valores del LAI

cambian dependiendo del tipo de vegetación, por la forma de las hojas y la de la planta en general. Puede variar entre 0 para suelo desnudo, a 10 en bosques densos de coníferas.

- **FAPAR (Fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida):** Se define como la fracción de la radiación fotosintéticamente activa en el rango espectral de 0.4 a 0.7 μm absorbida por la cubierta para transformarla en energía química durante la fotosíntesis y, por tanto, expresa la capacidad de la cubierta para absorber energía [4]. De esta manera, solo se refiere a los elementos verdes y vivos de la cubierta. Este parámetro está vinculado con el LAI y depende de la estructura de la cubierta, de las características ópticas del suelo y las hojas, de las condiciones meteorológicas, y de la configuración angular de la estructura, que identifica las condiciones de iluminación. Es, por tanto, uno de los indicadores de la salud de la vegetación y una variable esencial para describir el estado de la biosfera.

Asimismo, la FAPAR es un parámetro indispensable en los modelos de productividad de los ecosistemas, en modelos de clima, hidrología y ecología ya que es una variable imprescindible para estimar la actividad fotosintética y, por tanto, la productividad primaria neta o NPP (Net Primary Production). Los valores de FAPAR oscilan entre 0 si no se capta nada y 1 si se capta toda la radiación solar emitida.

- **FCOVER (Fracción de cobertura vegetal):** Se define como la proporción de vegetación, observada desde el nadir, que se distribuye horizontalmente sobre la superficie [5]. En la práctica, cuantifica la extensión espacial de la vegetación. La distribución espacial de los elementos vegetales suele ser regular en cultivos, entre tanto que la vegetación natural presenta una distribución mucho más compleja y sin un patrón regular. Por esto, la variación espacial de esta variable en un ecosistema señala la heterogeneidad del paisaje. Posee una relación casi lineal con la vegetación.

Se calcula a partir del LAI y otros parámetros estructurales de la masa y es independiente, a diferencia de la FAPAR, de la geometría de la iluminación.

Se trata de una variable esencial para valorar los flujos de agua y energía de la biosfera y es una de las variables más empleadas, junto con el LAI, para describir la cubierta vegetal. Los valores de FCOVER oscilan entre 0 si es todo suelo desnudo y 1 si todo está cubierto por vegetación.

Otros de los parámetros de los que se generan productos se definen a continuación:

- **NDVI:** Es un indicador del verdor de una superficie [6]. Pese a no ser una propiedad física de la cobertura vegetal, dada la facilidad de su formulación, ha servido para considerarla una medida ampliamente utilizada en monitorización de ecosistemas. Los dos satélites utilizados en el proyecto previo a este poseían bandas en el rojo (R) y el infrarrojo cercano (NIR), capaces de calcular un producto de NDVI BOA, de forma sencilla y directa:
 - El Sentinel 2-MSI, ofrece valores de reflectividad BOA en ambas bandas R y NIR, en su Nivel 2. El BOA (Bottom of atmosphere) representa la reflectancia real de las áreas en la superficie de la Tierra. Tras el preprocesado y posterior procesado, este producto es calculado y guardado como parte de la cartera de productos ofrecidos por el AGRISEN 1-2-3, junto con una banda de calidad del producto.
 - El Landsat 8-OLI permite descargar valores de reflectividad BOA, sobre una zona de estudio, previa demanda de tratamiento de estos datos de un Nivel 1 a 2. El preprocesado y procesado se efectúa de la misma manera que en el caso del Sentinel-2.
- **LST:** Es la variable termodinámica, responsable principal del intercambio de flujos de energía entre la superficie terrestre y la atmósfera [7]. Existen diferentes técnicas para obtener la temperatura de la superficie terrestre, corregida del efecto atmosférico, pero en el proyecto previo solo se ha considerado el método split-window, el cual utiliza la

radiancia TOA en el intervalo espectral TIR (8-14 μm), para obtener un valor BOA de la LST. Los productos LST utilizados en el proyecto previo para obtener un valor reescalado a 10 m con las medidas del Sentinel 2-MSI han sido:

- El Landsat 8-TIRS ofrece medidas de radiancia TOA en sus bandas 10 (10 μm) y 11 (12 μm), las cuales se pueden convertir en temperatura TOA que sirvan como input del algoritmo split-window propuesto por Du et al., (2015) [8], para obtener la LST final.
- **ET:** El modelo SEBI (Surface Energy Balance Index) para la determinación de la ET fue originalmente propuesto por Menenti y Choudhury (1993) [9], basándose en la hipótesis física que ET varía con la LST para una superficie homogénea. Estableciendo que para un determinado valor del albedo de la superficie (a_s) y para unas condiciones específicas de la capa límite, existe un gradiente de temperatura entre la LST y la temperatura del aire para una determinada altura del cultivo. Este gradiente térmico varía entre un valor máximo, donde se presume que la ET es nula, y un valor mínimo donde la ET adquiere un valor potencial (ETp) de acuerdo con la ecuación de Penman-Monteith [10].

En la siguiente tabla se muestran el intervalo de valores que se toman en este proyecto para los parámetros descritos anteriormente:

| Variables | Valor mínimo | Valor máximo |
|------------------|---|--|
| LAI | 0 (Suelo desnudo) | 10 (Bosques densos de coníferas) |
| FAPAR | 0 (No se absorbe nada de la radiación solar emitida) | 1 (Se absorbe toda la radiación solar emitida) |
| FCOVER | 0 (Suelo desnudo) | 1 (Todo cubierto por vegetación) |
| NDVI | 0 (Superficie nada verde) | 1 (Superficie toda verde) |
| LST (K) | 270 (Superficie con temperaturas bajas) | 340 (Superficie con temperaturas altas) |
| ET (mm/d) | 0 (Gradiente entre la LST y la temperatura del aire máximo) | 15 (Gradiente entre la LST y la temperatura del aire mínimo) |

Tabla 1. 2 – Intervalo de valores validos de los parámetros

1.3.3 Landsat-8 y Sentinel-2

La base de nuestro proyecto son los productos estimados en proyecto previo de los distintos parámetros descritos en el anterior apartado a partir observaciones de los satélites Landsat-8 y Sentinel-2. Por lo tanto, a continuación, se describen los distintos tipos de satélites:

- **Landsat-8:** La NASA cedió el control del satélite Landsat-8 al servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) en mayo de 2013, tras cuatro meses desde su lanzamiento. Dispone de un sensor OLI (Operational Land Imager) que barre desde el espectro visible al infrarrojo de onda corta SWIR (Short-Wave InfraRed) a una resolución de 30 m en multiespectral. Tiene una frecuencia de paso de 16 días [11].
- **Sentinel-2:** Es una misión europea de obtención de imágenes multiespectrales de alta resolución y amplia franja. Dispone de un sensor MSI (Multi Spectral Instrument). La especificación completa de la misión de los satélites gemelos que vuelan en la misma órbita, pero en fase de 180°, está diseñada para dar una alta frecuencia de revisión de 5 días en el Ecuador. Sentinel-2 lleva una carga útil de instrumento óptico que muestrea 13 bandas espectrales: cuatro bandas a 10 m, seis bandas a 20 m y tres bandas a 60 m de

resolución espacial [12]. En este proyecto se utilizan los productos estimados de las bandas a 10m.

1.3.4 Sistema de Coordenadas Geográficas (UTM)

Los datos capturados por los satélites L8 y S2 se almacenan en sistema de coordenadas geográficas UTM.

El sistema de coordenadas geográficas UTM (Universal Transverse Mercator) se utiliza para referenciar cualquier punto de la superficie terrestre, utilizando para ello un tipo particular de proyección cilíndrica para representar la Tierra sobre el plano.

Las proyecciones se utilizan para representar un objeto sobre el plano. La proyección UTM en concreto posee las siguientes características:

- Es una proyección cilíndrica: Se obtiene proyectando el globo terráqueo sobre una superficie cilíndrica.
- Es una proyección transversa: El cilindro es tangente a la superficie terrestre según un meridiano. El eje del cilindro coincide, pues, con el eje ecuatorial.
- Es una proyección conforme: Mantiene el valor de los ángulos. Si se mide un ángulo sobre la proyección coincide con la medida sobre el elipsoide terrestre.

Para resolver el problema de la deformación de la proyección UTM a medida que nos alejamos del meridiano de tangencia lo que se ha hecho es subdividir la superficie terrestre en 60 husos iguales de 6 grados de longitud. Con ello resultan 60 proyecciones iguales, pero cada una con su respectivo meridiano central. Los husos se numeran del 1 al 60 comenzando desde el antimeridiano de Greenwich (180°) hacia el Este. A su vez, dentro de cada huso se establece una división en zonas (o bandas). Cada zona posee 8° de Latitud y 6° de Longitud, y se designa con el número de su huso y una letra mayúscula. La península ibérica queda dentro de 6 zonas: 29T, 30T, 31T, 29S, 30S y 31S. En ocasiones, no se utiliza la división en zonas anterior, y se realiza una división simple entre zona hemisferio Sur (indicado con una S seguida del huso) y zona hemisferio Norte (indicado con una N seguida del huso). [13]

1.4 Metodología

1.4.1 Proyecto Previo

Cabe comentar que en el proyecto previo a este se estimaron los productos de los parámetros descritos anteriormente utilizando los algoritmos que están basados en los métodos gaussianos concretamente basados en modelos radiativos PROSAIL (combinación de los modelos PROSPECT y SAIL). Dichas estimaciones fueron validadas y entrenadas con datos verdad-terreno para el periodo 2018-2019 realizando campañas de campo en las dos zonas de estudio (Barrax y Moncada).

- **El modelo PROSPECT** es un modelo de transferencia radiativa ideado y desarrollado por S. Jacquemoud y F. Baret en 1990, y es uno de los modelos más utilizados en infinidad de experimentos científicos. Este modelo está basado en el modelo de láminas generalizado de Allen, que representa las propiedades ópticas de las hojas desde los 400 nm a los 2500 nm de longitud de onda [14]
- **El modelo SAIL** (Scattering by Arbitrarily Inclined Leaves) desarrollado por Wout Verhoef en 1984 pertenece al tipo de modelos a nivel de dosel clasificados en esta revisión como modelos de turbidez. El modelo está basado en la teoría de Kubelka-Munk y es uno de los modelos más utilizados en infinidad de experimentos y estudios sobre la vegetación [14].

Por lo tanto, la base de nuestro proyecto son los productos que fueron estimados de los parámetros definidos en el apartado 1.3.2. Estos productos fueron estimados a partir de datos obtenidos de las observaciones de los satélites S2 y L8, y dichos productos están disponibles en el servidor de

EOLAB. Aunque de estos productos fueron solo validados los productos para las fechas de referencia 2018-2019 como se ha dicho anteriormente.

Por lo tanto, a través este proyecto se pretende validar los nuevos productos presentes en el servidor implementando un programa en MATLAB.

1.4.2 Cronograma del proyecto

El cronograma que se sigue en el desarrollo de este proyecto es el siguiente:

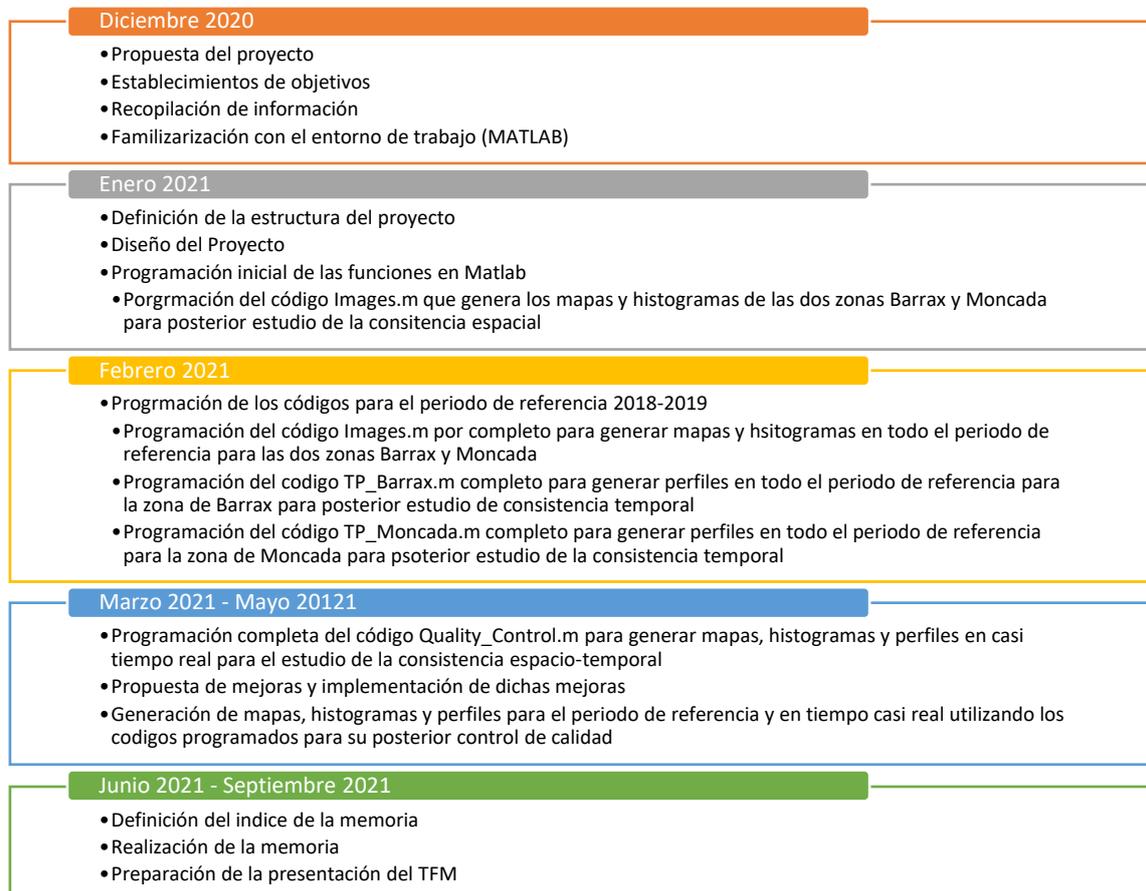


Figura 1. 6 - Cronograma del proyecto

1.4.3 MATLAB

El programa implementado en este proyecto para realizar el control de calidad de los productos estimados de distintos parámetros se desarrolla en la herramienta llamada MATLAB, por lo tanto, se debe definir brevemente esta herramienta.

MATLAB (laboratorio de matrices) es una plataforma de software matemático que proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Entre sus funciones básicas se encuentran: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

Se hallan disponibles de diferentes versiones de esta herramienta, se pueden consultar en su página web oficial (www.mathworks.es). En este proyecto para implementar el programa se utiliza la versión 2020b, que se lanzó en el año 2020, ya que este cuenta con las actualizaciones de funciones de últimas fechas, aunque recientemente se han lanzado nuevas versiones de la herramienta, se ha mantenido la utilización de la misma versión de la herramienta durante todo el desarrollo del proyecto desde su comienzo hasta su fin.

1.4.4 Zonas de estudio y muestreo

La monitorización y evaluación de los productos a generar de índices de vegetación (NDVI), variables biofísicas (LAI, FAPAR, FCOVER) y termodinámicas (LST, ET) se realiza en dos sitios pilotos, y por lo tanto estos sitios se denominan zonas de estudio. Las dos zonas de estudio son:

1.4.4.1 Barrax

Es un municipio español situado al sureste de la península ibérica, en la provincia de Albacete, dentro de la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha. Está situado sobre la meseta que da comienzo a la serranía de Alcaraz. Es una localidad eminentemente agrícola rodeada por grandes extensiones de cereales. Alcanza una extensión de 18.794 hectáreas, 39 áreas y 10 centiáreas (189,86 km²). Los terrenos forman parte de una granja experimental en la que crecen numerosos cultivos de secano y regadío, así como campos sin cultivo [15]. La amplia variedad de condiciones presentes en Barrax lo convierten en el lugar idóneo para la evaluación y monitorización de las variables definidas en el apartado 1.3.2.

Se puede observar la embarcación de la zona de estudio en la siguiente figura:



Figura 1.7 - Mapa de zona de estudio Barrax

Fuente: Google Earth Pro

En esta zona de estudio se realiza un estudio de la evolución de unos tipos de cultivos. Así para poder generar productos para distintas coordenadas geográficas de cada tipo de cultivo. En nuestro proyecto estas coordenadas geográficas de estudio se denominan Puntos de Control (Control Points-CP). Por lo tanto, los CPs para la zona de Barrax son los mostrados en la siguiente tabla:

| CP | Latitud | Longitud | Tipo de cultivo |
|----|-----------|-----------|-----------------------|
| 1 | 39,081894 | -2,174409 | Plantación de arboles |
| 2 | 39,106166 | -2,191553 | Plantación de arboles |
| 3 | 39,052721 | -2,072327 | Cereales |

| | | | |
|----|-----------|-----------|-----------------------|
| 4 | 39,066266 | -2,110648 | Guisantes |
| 5 | 39,078121 | -2,114113 | Cereales |
| 6 | 39,078675 | -2,13006 | Colza |
| 7 | 39,101625 | -2,152033 | Cereales |
| 8 | 39,067214 | -2,143064 | Maíz |
| 9 | 39,055223 | -2,130825 | Ajo |
| 10 | 39,058445 | -2,095469 | Ajo |
| 11 | 39,057587 | -2,08945 | Ajo |
| 12 | 39,064484 | -2,10314 | Cereales |
| 13 | 39,048055 | -2,08533 | Plantación de arboles |
| 14 | 39,061152 | -2,096145 | Plantación de arboles |
| 15 | 39,090979 | -2,188893 | Maíz |
| 16 | 39,035311 | -2,105534 | Cereales |

Tabla 1. 3 - CPs de la zona de Barrax

1.4.4.2 Moncada

Esta zona está integrada en la comarca de L'Horta Nord, a 8 Km del norte de la ciudad de Valencia y a 7 del litoral mediterráneo. El término municipal ocupa una superficie de 1.560 hectáreas. El territorio de Moncada es básicamente plano y su orografía está entre los 25 y los 90 metros sobre el nivel del mar. Las cotas más elevadas se encuentran en la zona Oeste y en la Noroeste (Tos Pelat). Las zonas más bajas se encuentran en la zona de la huerta [16]. Moncada como la anterior zona de estudio es una localidad muy conveniente para centrar el estudio en esta zona.

Se puede observar en la siguiente figura la zona cubierta donde se realiza el estudio:



Figura 1. 8 - Mapa de zona de estudio Moncada

Fuente: Google Earth Pro

Esta es la segunda zona de estudio donde se realiza un estudio de la evolución de unos tipos de cultivos específicos. De la misma manera que en la anterior zona de estudio se generan los productos para distintas coordenadas geográficas de cada tipo de cultivo. Los CPs para la zona de Moncada son los mostrados en la siguiente tabla:

| CP | Latitud | Longitud | Tipo de cultivo |
|----|-----------|-----------|------------------|
| 1 | 39,504126 | -0,388271 | Alcachofa |
| 2 | 39,512673 | -0,398502 | Alcachofa |
| 3 | 39,520916 | -0,404404 | Alcachofa |
| 4 | 39,518066 | -0,379632 | Cebolla y otros |
| 5 | 39,525876 | -0,389984 | Cebolla y otros |
| 6 | 39,538503 | -0,391463 | Cebolla y otros |
| 7 | 39,527092 | -0,396252 | Calabaza y otros |
| 8 | 39,513339 | -0,372258 | Calabaza y otros |
| 9 | 39,518623 | -0,382552 | Chufa y otros |
| 10 | 39,521692 | -0,376861 | Chufa y otros |
| 11 | 39,524727 | -0,378164 | Chufa y otros |
| 12 | 39,518518 | -0,380445 | Habas y otros |
| 13 | 39,518724 | -0,381392 | Hinojo y otros |
| 14 | 39,523022 | -0,377161 | Lechuga y otros |
| 15 | 39,527087 | -0,377271 | Lechuga y otros |
| 16 | 39,526368 | -0,377353 | Lechuga y otros |
| 17 | 39,519577 | -0,378608 | Alcachofa |
| 18 | 39,523893 | -0,386751 | Naranja |
| 19 | 39,526615 | -0,388557 | Naranja |
| 20 | 39,537439 | -0,390597 | Patata y otros |

Tabla 1. 4 – CPs de la zona de Moncada

1.4.5 Metodología utilizada para el control de calidad

La metodología empleada en este proyecto para realizar el control de calidad de los productos a generar se basa en estudios de la consistencia espacial y temporal. Para ello se establece el periodo de referencia desde el 1 de enero de 2018 hasta 31 de diciembre de 2019. En este periodo los productos estimados con algoritmos basados en métodos gaussianos fueron validados y entrenados con datos verdad-terreno, por lo que se consideran dichos años como periodo de referencia. A partir de 2020 se generan productos en tiempo casi real (near real time), y se evalúa la calidad de los nuevos productos generados tomando como referencia el periodo validado (2018-2019). El proyecto se divide en dos bloques:

- En el primer bloque del proyecto se generan los productos estimados a partir de observaciones de los satélites Landsat-8 y Sentinel-2 en el periodo de referencia.
- Posteriormente en el segundo bloque del proyecto se generan y se evalúan los productos estimados a partir de observaciones de los satélites Landsat-8 y Sentinel-2 en tiempo casi real (near real time) que comienza a partir del 1 de enero de 2020 tomando como referencia el periodo validado.

La consistencia espacial hace referencia al realismo de la distribución espacial de valores en el mundo [17]. Para evaluar dicha consistencia espacial se generan para las dos zonas de estudio mapas e histogramas de cada parámetro definidos en el apartado 1.3.2 para todo el periodo de evaluación.

- **Mapas:** Son mapas geográficos de las dos zonas de estudio (Barrax y Moncada) donde se han generado productos de indicadores agronómicos de alta resolución espaciotemporal a partir de datos de satélites Sentinel-2 y Landsat-8 a través de MATLAB. Estos mapas se generan para índices de vegetación (NDVI), variables biofísicas (LAI, FAPAR, FCOVER) y termodinámicas (LST, ET). La resolución de estos mapas depende del satélite donde para el Landsat-8 son 30m de resolución y para el Sentinel-2 son 10m de resolución.
- **Histogramas:** Un histograma es un resumen en gráfica de la variación de un conjunto de datos en nuestro caso serán los mapas generados de los parámetros LAI, FAPAR, FCOVER, ET, LST y NDVI. La naturaleza gráfica del histograma nos permite ver pautas que son difíciles de observar en una simple tabla numérica. [18]
 - o El histograma se representa con una gráfica de barras y está compuesto de rectángulos, donde la base es la línea de las abscisas (x) y la altura, la de las coordenadas (y).
 - o El rango de valores de la variable se divide en intervalos de igual amplitud. Así cada intervalo se representa con un rectángulo que tiene a este segmento como base.

La consistencia temporal hace referencia al realismo de las variaciones estacionales e interanuales [14]. Para evaluar dicha consistencia temporal se realizan los perfiles temporales de cada parámetro definidos en el apartado 1.3.2 para todo el periodo de evaluación.

- **Perfiles temporales:** Los perfiles temporales en nuestro proyecto hacen referencia a la evolución temporal de un tipo de cultivo descritos en las Tablas 1.3 y 1.4 para una coordenada geográfica concreta en las dos zonas de estudios para los distintos parámetros.

Para evaluar el número de píxeles válidos en la superficie del terreno de cada zona se estudia la **continuidad espaciotemporal**. Esta tiene como objetivo calcular el número de huecos que hay en el mapa de cada zona, ya sean causados por las nubes o por otros aspectos atmosféricos durante la captura de las imágenes en una fecha dentro del periodo de evaluación realizadas por los satélites Landsat-8 y Sentinel-2. Por lo tanto, para ello se generan los perfiles del número de píxeles válidos. Por otro lado, también se generan perfiles de los percentiles de los datos generados.

Finalmente se estudiarán también **las estadísticas de datos** (Mapas) que se van generando de las dos zonas de estudio, y de los dos satélites durante todo el periodo de evaluación.

Capítulo 2. Desarrollo

2.1 Estructura del programa implementado

Para entender el funcionamiento del Back-End del programa implementado para generar los productos de los distintos parámetros es importante, que se presente un flujograma a continuación:

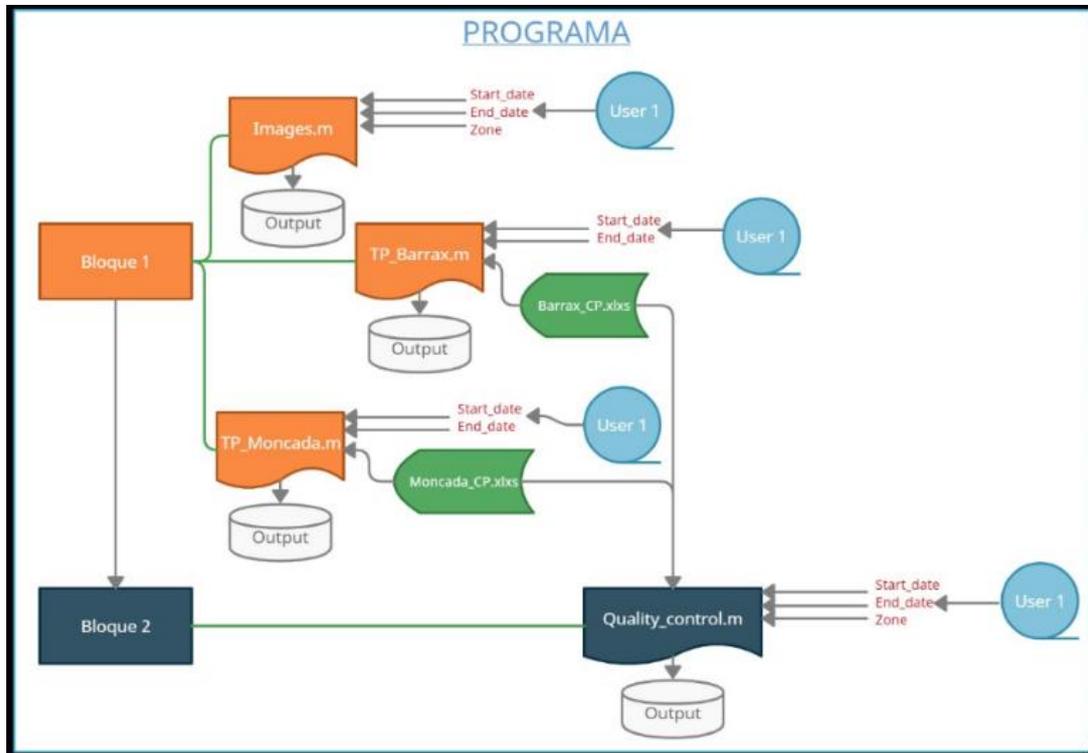


Figura 2. 1 - Flujograma del programa

Fuente: <https://app.creately.com/>

2.2 Las funciones del programa

Como vemos en la Figura 2.1 el programa implementado se divide en dos bloques.

2.2.1 Bloque 1

En este bloque se han programado los códigos en MATLAB para generar los mapas, histogramas y perfiles de los productos ya validados y verificados a partir de observaciones de los satélites Sentinel-2 y Landsat-8 para el periodo de referencia que empieza el 1 de enero de 2018 finalizando el 31 de diciembre de 2019.

2.2.1.1 Images.m

En el fichero Images.m (Figura 2.1) se generan mapas e histogramas de todos los parámetros definidos en el apartado 1.3.2. tanto del Sentinel-2 y como del Landsat-8 para el periodo de referencia.

2.2.1.1.1 Inputs

El código Images.m recibe como entradas dos fechas (Figura 2.1). La primera fecha es el “Start_date” que es la fecha de referencia 1 de enero de 2018, y la otra fecha es el “End_date” que es la fecha final del periodo de referencia 31 de diciembre de 2019. El código Images.m se divide en dos partes en la primera parte está el código programado para la zona de Barrax, y en la segunda parte está presente el código programado para la zona de Moncada. La tercera entrada que Images.m recibe es la zona de estudio (Figura 2.1 -“Zone”) para decidir qué parte del código

se desea ejecutar. Esto se indica con un valor “1” para la zona de Barrax, o con un valor “2” para la zona de Moncada, y dependiendo del valor indicado se ejecutaría una u otra parte del código.

Una vez leídas las entradas, las siguientes partes del código Images.m las distinguimos en siguientes apartados:

2.2.1.1.2 Mapas

Los productos estimados se encuentran almacenados en el servidor de la empresa EOLAB. Para poder trabajar con ellos en MATLAB Images.m utiliza la función “ftp” del MATLAB para así acceder al servidor. Esta función recibe como entradas la IP del servidor, el usuario de acceso y la contraseña de acceso, devolviendo un objeto “ftobj” que contiene la ubicación de las carpetas en el servidor. Se puede observar la sintaxis de la función en la siguiente figura:

`ftobj = ftp(host,username,password)` accesses the **FTP** account with the specified user name and password.

Figura 2. 2 - Función “ftobj” de MATLAB

Los productos en el servidor se encuentran almacenados en distintas carpetas. Las carpetas están ordenadas en un primer nivel por satélite (L8, L8HS2 y S2), siguiendo del segundo nivel por los parámetros (BIO (LAI, FAPAR e FCOVER), ET, LST y NDVI), y por el último nivel por las zonas de estudio (Barrax y Moncada). Por lo tanto, tenemos los siguientes casos de acceso al servidor vía ftp:

| Caso | Ordenación de las carpetas |
|------|----------------------------|
| 1 | L8>BIO>Barrax |
| 2 | L8>ET>Barrax |
| 3 | L8>LST>Barrax |
| 4 | L8HS2>NDVI>Barrax |
| 5 | S2>BIO>Barrax |
| 6 | S2>ET>Barrax |
| 7 | S2>LST>Barrax |
| 8 | S2>NDVI>Barrax |
| 9 | L8>BIO>Moncada |
| 10 | L8>ET>Moncada |
| 11 | L8>LST>Moncada |
| 12 | L8HS2>NDVI>Moncada |
| 13 | S2>BIO>Moncada |
| 14 | S2>ET>Moncada |
| 15 | S2>LST>Moncada |
| 16 | S2>NDVI>Moncada |

Tabla 2. 1 - Casos de acceso al servidor EOLAB

Cabe comentar que la empresa ha decidido no tener en cuenta exactamente los productos estimados para el satélite L8 del parámetro NDVI para las dos zonas Barrax y Moncada. En vez de esos productos se utilizan productos armonizadas del satélite L8 a S2 (L8HS2), es decir se utilizan productos del satélite L8, pero haciendo un calibrado espectral a S2.

El fichero Images.m como se ha comentado anteriormente trabaja en una primera mitad de código con los casos de Barrax de la Tabla 2.1, y en la otra mitad con los casos de Moncada de la misma tabla.

Images.m accede a dichas carpetas (casos Tabla 2.1) del servidor de EOLAB en distintas iteraciones de un bucle for. El número de interacciones son el número de casos que tenemos en la Tabla 2.1 para cada zona.

Por otro lado, Images.m en cada iteración del bucle for está presente otro bucle for donde el número de iteraciones son el número de productos presentes en el servidor para cada caso de acceso de la Tabla 2.1. Por lo tanto, Images.m trabaja con cada producto de uno en uno, es decir a medida que el código programado se va ejecutando va descargando en el local cada producto de una fecha, empezando por la fecha de 1 de enero de 2018, y así progresivamente los productos disponibles para otras fechas. El producto descargado se almacena en el local como se ha dicho anteriormente. Estos productos están presentes en formato .tiff que se define a continuación

- **Geo TIFF (Georeferencing Tagged Image File Format):** El estándar OGC Geo TIFF es un estándar de implementación OGC. Geo TIFF se basa en el formato TIFF y se utiliza como formato de intercambio para imágenes georreferenciadas [19]. El formato Tiff es un formato de archivo informático para almacenar imágenes de mapa de bits. Lo más importante de este formato es que es un formato sin pérdida, es decir, que podemos abrir y cerrar el documento, guardarlo tantas veces como queramos que permanecerá inalterable [20].

Una vez definidos los casos de acceso, y descargado el producto en el local, el código del fichero Images.m empieza a leer la cabecera del producto utilizando la función “geotiffinfo” del MATLAB. En la siguiente figura se muestra la sintaxis de esta función:

```
info = geotiffinfo(filename) returns a structure whose fields contain image properties and cartographic information about a GeoTIFF file.
```

Figura 2. 3 – Función “gettiffinfo” de MATLAB

Esta función devuelve un array tipo estructura (Struct) de MATLAB, donde se presentan las características del producto. Las principales características de la cabecera con las que Images.m trabaja, son las siguientes:

```
samples = 667  
lines = 667  
bands = 3  
pixel = 30  
ULX = 567840  
ULY = 4333170  
map info = {UTM, 1.5, 1.5,567840,4333170,30,30,30, North, WGS-84, units=Meters}  
band names = {LAI, FAPAR, FCOVER}
```

Figura 2. 4 – Ejemplo de características principales de la cabecera de una imagen L8 Barrax (LAI)

Cabe describir las principales características presentes en la figura anterior:

- **Samples:** Corresponde con el número de píxeles totales en el eje X del producto en cuestión (Figura 1.7 o Figura 1.8).
- **Lines:** Corresponde con el número de píxeles totales en el eje Y del producto en cuestión (Figura 1.7 o Figura 1.8).
- **Píxel:** Indica la resolución de un píxel.
- **ULX:** Indica la coordenada en el eje X en UTM del primer píxel del producto, que sería el píxel de la esquina superior izquierda en la Figura 1.7 o Figura 1.8.
- **ULY:** Indica la coordenada en el eje Y en UTM del primer píxel del producto, que sería el píxel de la esquina superior izquierda en la Figura 1.7 o Figura 1.8.
- **Map info:** Indica la información de las coordenadas en UTM del primer píxel del producto. Images.m de esta información trabaja solo con el número de huso (en el caso de ejemplo de la figura anterior es 30) y con la localización vertical (en el caso de ejemplo de la figura anterior es Norte).

- **Band names:** Informa de las bandas que alberga el producto. En el caso de los productos BIO siempre tenemos tres bandas que son LAI, FAPAR y FCOVER, y para el resto de los productos tenemos una banda única (NDVI, LST o ET) por producto.

Estas características varían según zona y satélite excepto “Band names” que varía según el parámetro como se ha dicho anteriormente. En la siguiente tabla se presentan dichas características:

| Característica | L8 y L8HS2 | | S2 | |
|-----------------|------------|---------|---------|---------|
| | Moncada | Barrax | Moncada | Barrax |
| Samples | 171 | 667 | 499 | 1999 |
| Lines | 171 | 667 | 499 | 1999 |
| Píxel | 30m | 30m | 10m | 10m |
| ULX | 722070 | 567840 | 722120 | 567820 |
| ULY | 4380330 | 4333170 | 4380290 | 4333190 |
| Map info | 30 N | 30 N | 30 N | 30 N |

Tabla 2. 2 - Característica de las imágenes geográficas

Una vez leídos los datos de la cabecera del producto, Images.m lee los datos del producto en cuestión devolviendo una matriz de dimensiones Samples por Lines por número de Band names (En el caso del ejemplo de la Figura 2.4 serían 667x667x3). En esta matriz se sustituyen los valores huecos (Negativos) por valores NaN. Estos valores huecos generalmente son causados por las nubes o por otros factores meteorológicos a la hora de la captura de datos por los distintos satélites.

2.2.1.1.3 Histogramas

Posteriormente Images.m genera el histograma de cada producto con la que trabaja utilizando la función “Histogram” del MATLAB. En la siguiente figura se puede observar un ejemplo de ejecución de dicha función:

```
histogram(FAPAR_f, 50, 'Normalization','probability');
```

Figura 2. 5 – Ejemplo de ejecución de la función “histogram” del MATLAB

Donde,

- **“FAPAR_f”:** Es la matriz de datos del producto de la banda en este caso FAPAR.
- **“50”:** Es el número de barras en las que se divide el histograma.
- **“Normalization”:** El método utilizado para generar el histograma.
- **“Probability”:** Tipo de normalización utilizado. En este tipo la suma de las alturas de las barras es menor o igual a 1.

Para generar histogramas de los productos de todos los parámetros se utiliza la misma función “Histogram”.

En Images.m además de generar el histograma del producto en cuestión se ha programado el código para que genere el histograma comparativo de un producto con fecha más próxima a la de la fecha en cuestión, pero el año del producto comparativo es el primer año de referencia que es el 2018. Esta parte de código solo se ejecuta si la fecha del producto en cuestión es superior a 31 de diciembre de 2018, es decir se generan histogramas comparativos de cada producto a partir de la fecha de 1 de enero de 2019 (inclusive). Por ejemplo, si la fecha del producto en cuestión para un parámetro en concreto es de 1 de enero de 2019, entonces el código detecta que se ha superado la fecha de 31 de diciembre de 2018. En ese caso el código busca un producto con fecha lo más

próxima a 1 de enero, pero del año 2018, y genera el histograma para esa fecha interpolando con el histograma de fecha en cuestión.

2.2.1.1.4 Coordenadas

La siguiente parte del código de Images.m se centra en generar las coordenadas manualmente de cada producto utilizando las características principales del producto en cuestión. Se calculan las coordenadas en formato UTM de cada píxel del producto guardando el resultado para el eje X en un vector de dimensiones Samples, y para el eje Y en otro vector de dimensiones Lines.

2.2.1.1.5 Representación

Una vez obtenidos los datos del producto, del histograma (y del histograma comparativo si aplica) y las coordenadas del producto en cuestión, el código Images.m genera la figura donde se representa el mapa con coordenadas, y genera otra figura para representar el histograma con su comparativo histograma si fuera el caso. Estas figuras se guardan en el local para su posterior estudio en formato png.

Llegado hasta este punto el código se ejecutaría para todas las iteraciones del número de productos que se tengan en cada caso de la Tabla 2.1, y por el número de iteraciones de los casos de la Tabla 2.1 generando mapas e histogramas para todos los productos presentes en el servidor de EOLAB para el periodo de referencia indicado como input del código.

2.2.1.1.6 Estadísticas

Para llevar un control de los productos procesados en cada ejecución del código se genera un documento de texto donde se guardan el número de producto o imágenes procesadas para cada caso de la Tabla 2.1 entre la fecha “Start_date” y la fecha “End_date” indicadas como inputs al código Images.m. En el dicho documento de texto se presentan también el tamaño total de las imágenes procesadas para cada caso. Este documento de texto igual que los mapas e histogramas generados se guardan en el local para su posterior estudio.

2.2.1.1.7 Output

Una vez ejecutado la primera parte del código Images.m programada para los casos de la Tabla 2.1 para la zona de Barrax, este genera una carpeta llamada “OUTPUT” donde se guardan los resultados del Images.m para esta parte. La distribución de las carpetas donde se guardan los resultados se muestra en la figura a continuación:

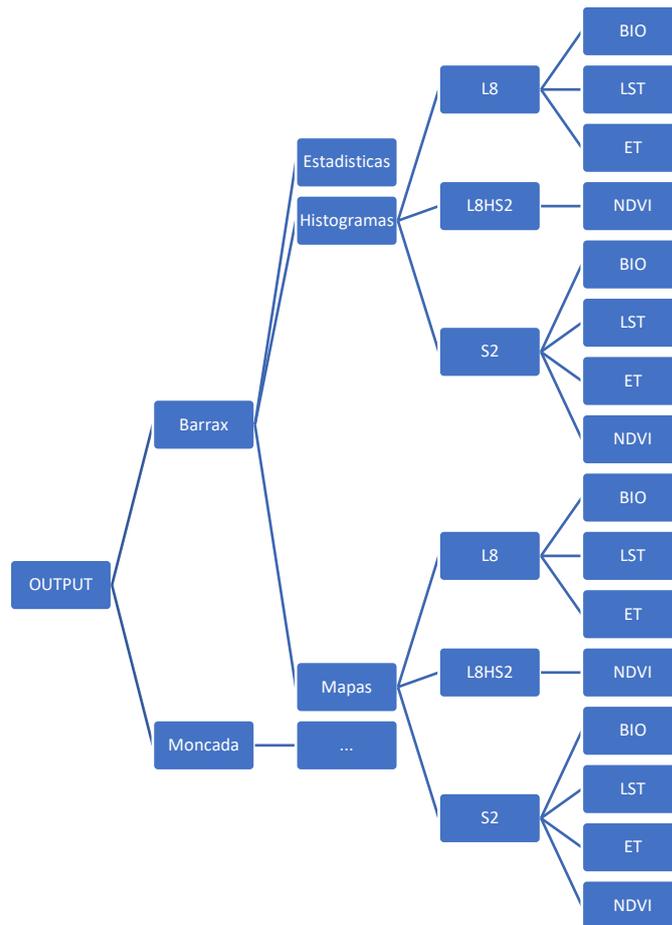


Figura 2. 6 - Distribución de las carpetas OUTPUT para la zona de Barrax (Images.m)

Para la segunda mitad del código del Images.m se generan los mapas, histogramas y estadísticas para la zona de Moncada siguiendo el mismo procedimiento explicado en los anteriores apartados, pero en este caso se programa el código para los casos de la Tabla 2.1 para la zona de Moncada. Finalmente guardando los resultados de esta parte del código en la misma carpeta “OUTPUT” creada por la parte del código programado para la zona de Barrax. Para la zona de Moncada la distribución de carpetas en la carpeta “OUTPUT” es la mostrada en la figura a continuación:

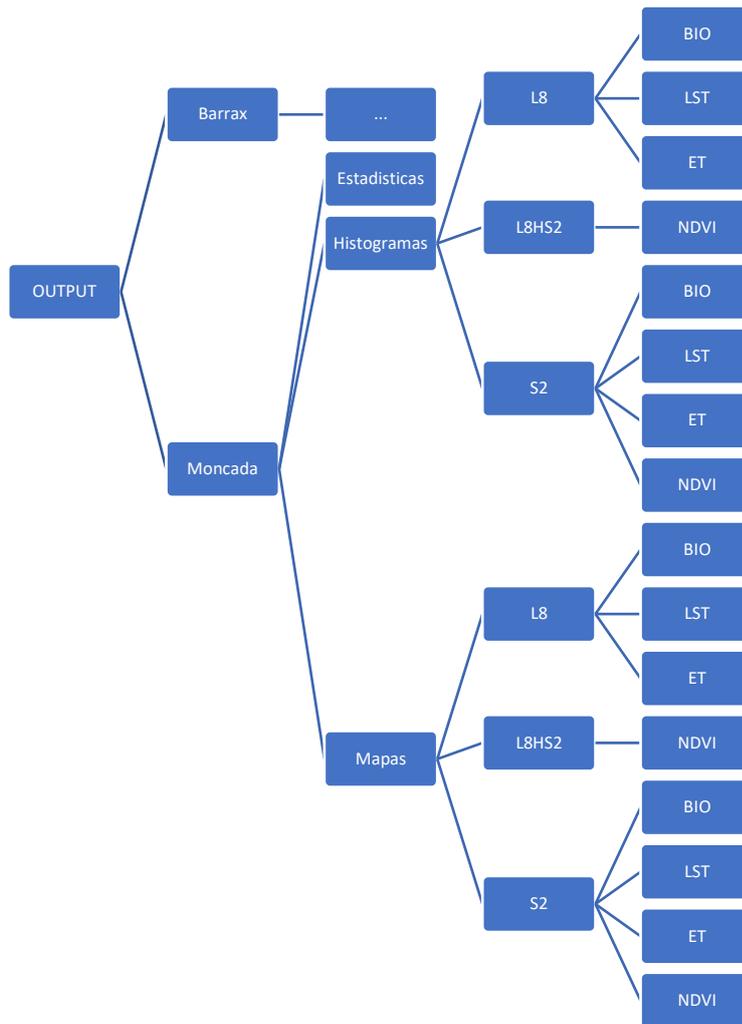


Figura 2.7 - Distribución de las carpetas OUTPUT para la zona de Moncada (Images.m)

Cabe comentar que tanto para Barrax (Figura 2.6) como para Moncada (Figura 2.7) se distribuyen los resultados en las carpetas en un primer nivel por el tipo de resultado generado (Mapas, histogramas y estadísticas), seguido del segundo nivel por el satélite (L8, L8HS2 y S2), y finalmente se distribuyen por el ultimo nivel por los parámetros (BIO, LST, ET y NDVI).

2.2.1.2 TP_Barrax.m

El siguiente fichero programado en el primer bloque del programa es el TP_Barrax.m. Con este código se pretende estudiar la consistencia temporal para los productos de Barrax. Por lo tanto, con este código se generan los perfiles temporales para el periodo de referencia de cada coordenada de la Tabla 1.3 para la zona de Barrax, tomando los casos de la Tabla 2.1 para esta zona.

Además de generar los perfiles temporales cabe comentar que este código genera también los perfiles del número de píxeles válidos, y los perfiles de percentiles con el objetivo descrito en el anterior párrafo. En los perfiles del número de píxeles se representan la evolución temporal de los números de píxeles válidos para cada parámetro descritos en el apartado 1.3.2, y por otro lado en los perfiles de percentiles se representan los percentiles de 5%, 25%, 50%, 75% y 95% de los datos de cada producto de los parámetros en evolución del tiempo.

2.2.1.2.1 Inputs

El código TP_Barrax.m recibe como entradas dos fechas (Figura 2.1). La primera fecha es el “Start_date”, que es la fecha de referencia 1 de enero de 2018, y la otra fecha es el “End_date” que es la fecha final del periodo de referencia 31 de diciembre de 2019 igual que Images.m.

2.2.1.2.2 *Los productos y sus características principales*

En TP_Barrax.m igual que Images.m al principio del código se accede a los productos a través de la función ftp del MATLAB (Figura 2.2). Y también se descargan los productos de uno en uno en el local, se leen las características principales de la cabecera de cada producto en cuestión, y se obtienen los datos en una matriz de dimensiones “Samples” por “Lines” por “Band names” en distintas iteraciones de los bucles for, tal y como se hace en Images.m.

2.2.1.2.3 *Cálculo del número de píxeles válidos*

Para representar los perfiles de número de píxeles válidos se debe calcular el número de píxeles válidos de cada producto. Por lo tanto, tras leer los datos de cada producto en cuestión se calculan el número de píxeles válidos. Para ello inicialmente se programa el código para calcular el número de píxeles totales que tiene cada producto en cuestión que son “Samples” por “Lines”.

Tras calcular el número de píxeles totales de la imagen en cuestión, se restan de ello el número de píxeles inválidos, que son los valores negativos de la matriz de datos del producto leídos anteriormente en el código. Estos valores negativos son causados por las nubes u otros factores atmosféricos. Con lo cual obtendríamos el número de píxeles válidos para el producto en cuestión.

Este cálculo se realiza para todos los productos presentes en el servidor en las fechas del periodo de referencia, para poder representar los en evolución del tiempo. Este cálculo se realiza para todos los casos de la Tabla 2.1 para zona de Barrax en distintas iteraciones de los bucles for. Estos bucles for son semejantes a los bucles for comentados en el apartado 2.2.1.1.2 para el Images.m.

2.2.1.2.4 *Coordenadas*

Para generar los perfiles temporales para todos los casos de la Tabla 2.1 se necesitan generar las coordenadas del producto en cuestión de cada píxel del producto. Por lo tanto, la siguiente parte del código de TP_Barrax.m se centra en generar las coordenadas manualmente de cada producto utilizando las características principales del producto en cuestión. Se calculan las coordenadas en formato UTM de cada píxel del producto guardando el resultado para el eje X en un vector de dimensiones Samples, y en otro vector de dimensiones Lines para el eje Y. tal como se realiza en el código Images.m descrito anteriormente .

2.2.1.2.5 *Cálculo de percentiles*

En la siguiente parte del código TP_Barrax.m se calculan los percentiles 5%, 25%, 50%, 75% y 95% de los datos del producto en cuestión para los casos de la Tabla 2.1 para la zona de Barrax.

Los percentiles se calculan utilizando la función “prctile” del MATLAB. En la siguiente figura se puede observar la sintaxis de dicha función:

`Y = prctile(X,p,'all')` devuelve percentiles de todos los elementos de X

Figura 2. 8 - Función “prctile” del MATLAB

Done,

- **Y:** Es la matriz donde se guarda el resultado.
- **X:** Es el este vector donde están presentes los datos de la cual se desea generar el percentil. En nuestro caso son los datos de cada producto en cuestión para todos los casos de la Tabla 2.1 en el periodo de referencia para esta zona.
- **p:** Aquí se indican el % del percentil que sea desea generar. En nuestro caso se generan los percentiles de 5%, 25%, 50%, 75% y 95% de cada producto para todos los casos de la Tabla 2.1 en el periodo de referencia para esta zona.
- **‘all’:** Indica que se utilizan todos los valores del vector X para generar los percentiles.

2.2.1.2.6 Cálculo de perfiles temporales para cada CP

En la parte posterior del código se leen los CPs de la zona de Barrax (Tabla 1.3) a partir de un Excel llamado Barrax_CP.xlsx presente en la ruta de trabajo del programa del MATLAB. Una vez leídos los CPs el código TP_Barrax.m busca las coordenadas de los CPs en la matriz de las coordenadas generadas anteriormente (apartado 2.2.1.2.4) para el producto en cuestión, para así obtener el dato para cada caso de la Tabla 2.1 de la zona de Barrax.

2.2.1.2.7 Almacenamiento de las variables de los datos de perfiles

Una vez que el código TP_Barrax.m genera los datos en unas variables de los perfiles temporales, perfiles del número de píxeles y perfiles de percentiles para todos los productos para los casos de la Tabla 2.1 de la zona de Barrax, entonces el código guarda estas variables en el local, ya que estas son utilizadas en los códigos del Bloque 2 (Figura 2.1) para generar los perfiles en tiempo casi real.

2.2.1.2.8 Representación

Una vez obtenidos los datos de los perfiles temporales, perfiles del número de píxeles y perfiles de percentiles para todos los productos para los casos de la Tabla 2.1 de la zona de Barrax, el código TP_Barrax.m los representa en distintas figuras. Para los perfiles del número de píxeles y de percentiles se genera una figura para cada caso de la Tabla 2.1 de la zona de Barrax. Para los perfiles temporales se genera una figura por CP.

2.2.1.2.9 Output

Una vez representados los perfiles en las figuras, el código TP_Barrax.m guarda estas figuras en la carpeta “Perfiles” dentro de la carpeta “OUTPUT” de la zona de Barrax anteriormente creada por el código Images.m. La distribución de la carpeta queda de la siguiente forma:

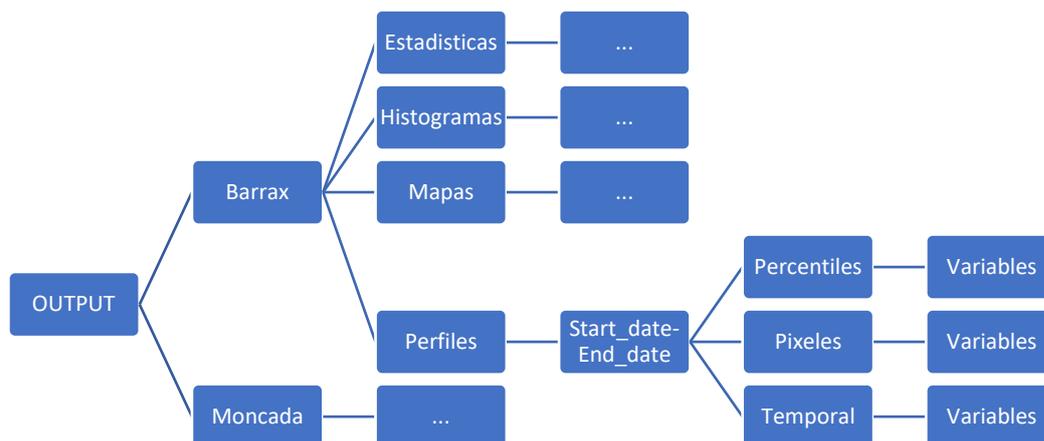


Figura 2. 9 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Barrax (TP_Barrax.m)

Como se muestra en la figura anterior los resultados generados por TP_Barrax.m se guardan en la carpeta denominada “Perfiles”. Dentro de esta carpeta se crea otra carpeta con el nombre, que es el periodo para la que se ejecuta el archivo TP_Barrax.m (El periodo de referencia) comenzando por “Start_date” seguido del guion (-) para separar las dos fechas, finalmente

terminando por “End_date”. Dentro de esta carpeta se separan los resultados por tipo de Perfiles (Percentiles, numero de pixeles y temporales), y dentro de cada carpeta de tipo de perfiles se guardan las figuras en formato png de cada tipo de perfiles generados por el código. Además, se guardan las variables de datos de cada tipo de perfiles en la carpeta creada “Variables”, para así poder utilizar los en el código del bloque 2.

2.2.1.3 TP_Moncada.m

El fichero final programado en el primer bloque del programa es el TP_Moncada.m. Con este código se pretende estudiar la consistencia temporal para los productos de Moncada. Por lo tanto, con este código se generan los perfiles temporales para el periodo de referencia de cada coordenada de la Tabla 1.4 para la zona de Moncada, tomando los casos de la Tabla 2.1 para esta zona. Este código está programado similarmente al código TP_Barrax.m diferenciando este del último en zona o casos de la Tabla 2.1 de programación.

Además de generar los perfiles temporales cabe comentar que este código genera también los perfiles de pixeles, y los perfiles de percentiles para el objetivo dicho en el anterior párrafo. En los perfiles de pixeles se representan la evolución temporal de los números de pixeles válidos para cada parámetro descritos en el apartado 1.3.2 y por otro lado en los perfiles de percentiles se representan los percentiles de 5%, 25%, 50%, 75% y 95% de los datos de cada parámetro en el tiempo.

2.2.1.3.1 Inputs

El código TP_Moncada.m recibe como entradas dos fechas (Figura 2.1). La primera fecha es el “Start_date”, que es la fecha de referencia 1 de enero de 2018, y la otra fecha es el “End_date” que es la fecha final del periodo de referencia 31 de diciembre de 2019 igual que Images.m y TP_Barrax.m.

2.2.1.3.2 Los productos y sus características principales

En TP_Moncada.m igual que Images.m y TP_Barrax.m al principio del código se accede a los productos a través de la función ftp del MATLAB (Figura 2.2). Y también se descargan los productos de uno en uno en el local, se leen las características principales de la cabecera de cada producto en cuestión y se obtienen los datos en una matriz de dimensiones “Samples” por “Lines” por “Band names” en distintas iteraciones de los bucles for, tal y como se hace en Images.m.

2.2.1.3.3 Cálculo del número de pixeles validos

Para representar los perfiles de número de píxeles validos se debe calcular el número de pixeles validos de cada producto. Por lo tanto, tras leer los datos de cada producto en cuestión se calculan el número de pixeles válidos. Para ello inicialmente se programa el código para calcular el número de pixeles totales que tiene cada producto en cuestión que son “Samples” por “Lines”.

Tras calcular el número de pixeles totales de la imagen en cuestión, se restan de ello el número de pixeles inválidos, que son los valores negativos de la matriz de datos del producto leídos anteriormente en el código. Estos valores negativos son causados por las nubes u otros factores atmosféricos. Con lo cual obtendríamos el número de pixeles válidos para el producto en cuestión.

Este calcula se realiza para todos los productos presentes en el servidor en las fechas del periodo de referencia, para poder representar los en evolución del tiempo. Este cálculo se realiza para todos los casos de la Tabla 2.1 para zona de Moncada en distintas iteraciones de los bucles for. Estos bucles for son semejantes a los bucles for comentados en el apartado 2.2.1.1.2 para el Images.m.

2.2.1.3.4 Coordenadas

Para generar los perfiles temporales para todos los casos de la Tabla 2.1 se necesitan generar las coordenadas del producto en cuestión de cada píxel del producto. Por lo tanto, la siguiente parte del código de TP_Moncada.m se centra en generar las coordenadas manualmente de cada

producto utilizando las características principales del producto en cuestión. Se calculan las coordenadas en formato UTM de cada píxel del producto guardando el resultado para el eje X en un vector de dimensiones Samples, y en otro vector de dimensiones Lines para el eje Y. tal como se realiza en el código anterior Images.m y TP_Barrax.m.

2.2.1.3.5 Cálculo de percentiles

En la siguiente parte del código TP_Moncada.m se calculan los percentiles 5%, 25%, 50%, 75% y 95% de los datos del producto en cuestión para los casos de la Tabla 2.1 para la zona de Moncada.

Los percentiles se calculan utilizando la función “prctile” del MATLAB (Figura 2.9), la misma función que se utiliza en TP_Barrax.m descrita anteriormente.

2.2.1.3.6 Cálculo de perfiles temporales para cada CP

En la parte posterior del código se leen los CPs de la zona de Moncada (Tabla 1.4) a partir de un Excel llamado Moncada_CP.xlsx presente en la ruta de trabajo del programa del MATLAB. Una vez leídos los CPs el código TP_Moncada.m busca las coordenadas de los CPs en la matriz de las coordenadas generadas anteriormente (apartado 2.2.1.2.4) para el producto en cuestión, para así obtener el dato para cada caso de la Tabla 2.1 de la zona de Moncada.

2.2.1.3.7 Almacenamiento de las variables de los datos de perfiles

Una vez que el código TP_Moncada.m genera los datos en unas variables de los perfiles temporales, perfiles del número de píxeles y perfiles de percentiles para todos los productos para los casos de la Tabla 2.1 de la zona de Moncada, entonces el código guarda estas variables en el local, ya que estas son utilizadas en los códigos del Bloque 2 (Figura 2.1) para generar los perfiles en tiempo real.

2.2.1.3.8 Representación

Una vez obtenidos los datos de los perfiles temporales, perfiles del número de píxeles y perfiles de percentiles para todos los productos para los casos de la Tabla 2.1 de la zona de Moncada, el código TP_Moncada.m los representa en distintas figuras. Para los perfiles del número de píxeles y de percentiles se genera una figura para cada caso de la Tabla 2.1 de la zona de Moncada. Para los perfiles temporales se genera una figura por un CP.

2.2.1.3.9 Output

Una vez representados los perfiles en las figuras, el código TP_Moncada.m guarda estas figuras en la carpeta “Perfiles” dentro de la “OUTPUT” de la zona de Moncada anteriormente creada por el código Images.m. La distribución de la carpeta queda de la siguiente forma:

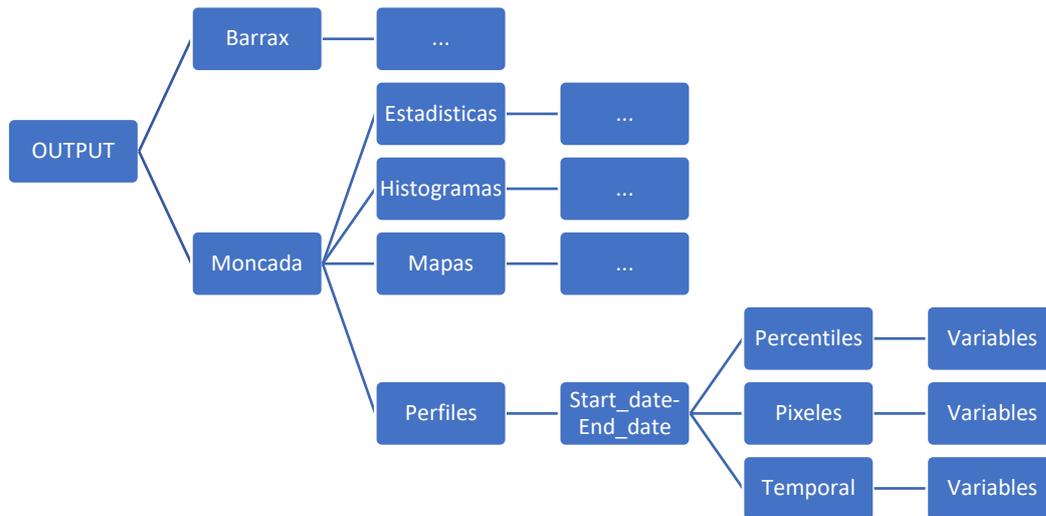


Figura 2. 10 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Moncada (TP_Moncada.m)

Como se muestra en la figura anterior los resultados generados por TP_Moncada.m se guardan en la carpeta denominada “Perfiles”. Dentro de esta carpeta se crea otra carpeta con el nombre, que es el periodo para la que se ejecuta el archivo TP_Moncada.m (El periodo de referencia) comenzando por “Start_date” seguido del guion (-) para separar las dos fechas, finalmente terminando por “End_date”. Dentro de esta carpeta se separan los resultados por tipo de Perfiles (Percentiles, Numero de pixeles y Temporales), y dentro de cada carpeta de tipo de perfiles se guardan las figuras de cada tipo de perfiles generados por el archivo. Además, se guardan las variables de datos de cada tipo perfiles en la carpeta creada “Variables”, para así poder utilizar los en los códigos del bloque 2.

2.2.2 Bloque 2

En este bloque se ha programado el código en MATLAB para evaluar la calidad haciendo un estudio de consistencia espacio-temporal de los nuevos productos a generar a partir de 2020, tomando como referencia el periodo validado (2018-2019). Los productos nuevos se generan en tiempo casi real (near real time).

2.2.2.1 Quality_Control.m

Este fichero como su nombre indica genera productos para evaluar la calidad de los productos estimados para las fechas a partir del año 2020 de los satélites L8 y S2 en tiempo casi real (near real time).

Antes de empezar a describir las partes que forman este fichero se debe comentar que este código estudia la consistencia espacial (generando mapas e histogramas), tal y como lo hace el código Images.m, y por otro lado también estudia la consistencia temporal (generando perfiles) de manera muy similar a los códigos TP_Barrax.m y TP_Moncada.m. Por lo tanto, se puede decir que el código Quality_Control.m está formado por los códigos Images.m, TP_Barrax.m y TP_Moncada.m, pero adaptado para generar mapas, histogramas y perfiles en tiempo casi real.

2.2.2.1.1 Inputs

El código Quality_Control.m recibe como entradas dos fechas y un valor (Figura 2.1). La primera fecha es el “Start_date”, que es la fecha de inicio del periodo de evaluación de los nuevos productos con fecha a partir de 2020. La segunda fecha es el “End_date”, que es la fecha final del periodo de evaluación de los nuevos productos. La fecha inicial en la primera ejecución del código debe ser el 1 de enero de 2020, pero la fecha final se deja a elección del usuario teniendo una condición que no debe ser posterior a la fecha del último producto generado en el servidor para el L8 y S2. La tercera entrada que recibe este código es un valor, donde se indica para qué zona se desea ejecutar el fichero. Un “1” indica que el código se ejecuta para la zona de Barrax, y un “2” indica que el código se ejecuta para la zona de Moncada.

Dependiendo de la zona de ejecución indicada por el usuario el código Quality_Control.m se ejecutará para la zona de Barrax o de Moncada. Pero el procedimiento de programación del código que se describe a continuación es similar para la zona de Barrax y para la zona de Moncada.

2.2.2.1.1 Lectura de las estadísticas

El código Quality_Control.m tras recibir las entradas por el usuario lee las estadísticas de los productos generados en el periodo de referencia que están guardados en unas variables en la carpeta de salida “Estadísticas” de la zona en cuestión, para así poder almacenar las estadísticas totales (estadísticas durante el periodo de referencia más las estadísticas del periodo de ejecución actual) al final del código en un documento de texto.

2.2.2.1.2 Generación de Mapas e Histogramas y sus representaciones

Posteriormente el código Quality_Control.m genera los mapas e histogramas para los casos de la Tabla 2.1 para la zona de Barrax o Moncada dependiendo de la zona de ejecución siguiendo el mismo procedimiento del Images.m (apartados 2.2.1.1.2, 2.2.1.1.3 y 2.2.1.1.4). Además, cabe comentar que en este caso el código genera los histogramas comparativos también, ya que las fechas de ejecución son posteriores al 31 de diciembre de 2018. Una vez generados los mapas y los histogramas el código los representa en distintas figuras para cada fecha y caso de la Tabla 2.1, almacenando las en el local en la carpeta “OUTPUT” de cada zona (Figura 2.6 y Figura 2.7).

2.2.2.1.1 Estadísticas

Como se ha dicho anteriormente en el código Quality_Control.m se suman las estadísticas de la ejecución de los códigos del bloque 1 para el periodo de referencia con las estadísticas de la ejecución del código para el periodo de ejecución actual indicado por el usuario. Y así para sucesivas ejecuciones. Estas estadísticas totales se guardan en las carpetas correspondientes dentro de la carpeta “OUTPUT” de cada zona (Figura 2.6 y Figura 2.7).

2.2.2.1.2 Los perfiles temporales

Por otro lado, el fichero Quality_Control.m también se encarga de generar los perfiles temporales, los perfiles del número de píxeles y los perfiles de percentiles para las fechas de ejecución de entrada y para la zona indicadas por el usuario para los casos de la Tabla 2.1 de cada zona. Dependiendo de la zona indicada genera los perfiles de la zona de Barrax siguiendo el mismo procedimiento que el código TP_Barrax.m (apartado 2.2.1.2) o de la zona de Moncada siguiendo el mismo procedimiento que el fichero TP_Moncada.m (apartado 2.2.1.3).

Inicialmente antes de empezar a generar los perfiles a diferencia de los códigos TP_Barrax.m y TP_Moncada.m, el código Quality_Control.m lee las variables de los perfiles generados para el periodo de referencia guardadas en las carpetas correspondientes llamadas “Variables” de cada zona (Figura 2.9 y Figura 2.10).

Seguidamente el código lee los datos de los productos y sus características principales para los casos de la Tabla 2.1 siguiendo el procedimiento del apartado 2.2.1.2.2 o 2.2.1.3.2 dependiendo de la zona indicada. Una vez leídos los datos, calcula el número de píxeles válidos siguiendo el

procedimiento explicado en el apartado 2.2.1.2.3 o 2.2.1.3.3 según la zona, para así poder generar posteriormente los perfiles del número de píxeles.

Para poder generar los perfiles temporales el código Quality_Control.m a continuación genera las coordenadas siguiendo el mismo procedimiento del apartado 2.2.1.2.4 o 2.2.1.3.4 dependiendo de la zona. A partir de aquí el código calcula los percentiles para obtener posteriormente los perfiles de percentiles, tal y como se explica en el apartado 2.2.1.2.5 para la zona de Barrax y en el 2.2.1.3.5 para la zona de Moncada.

En la parte posterior del código se calculan los valores de los perfiles temporales para cada CP (Tabla 1.3 o Tabla 1.4 dependiendo de la zona) siguiendo el mismo procedimiento del apartado 2.2.1.2.6 (zona Barrax) o 2.2.1.3.6 (zona Moncada). El código concatena estos valores en las variables de los perfiles temporales leídas al principio del código para poder representar los perfiles en tiempo real.

Una vez generadas las variables de los perfiles temporales, del número de píxeles y de percentiles el código los almacena en la nueva carpeta creada “Variables” dentro de la carpeta “OUTPUT” y la carpeta que lleva el nombre de las dos fechas de inputs separadas por un guion, tal y como se explica en los apartados 2.2.1.2.7 y 2.2.1.3.7, para así poder utilizar las en las posteriores ejecuciones del código Quality_Control.m.

Los últimos pasos del código Quality_Control.m son las representaciones de los perfiles temporales, de los perfiles del número de píxeles y de los perfiles de los percentiles para los casos de la Tabla 2.1 en distintas figuras, y su posterior almacenamiento de las figuras generadas en la carpeta “OUTPUT” correspondiente a cada zona. El procedimiento de estos pasos es similar a los explicados en los apartados 2.2.1.2.8 e 2.2.1.2.9 para la zona de Barrax y 2.2.1.3.8 e 2.2.1.3.9 para la zona de Moncada.

Por lo tanto, los resultados se almacenan en la carpeta llamada “OUTPUT” siguiendo la siguiente distribución de carpetas para la zona de Barrax:

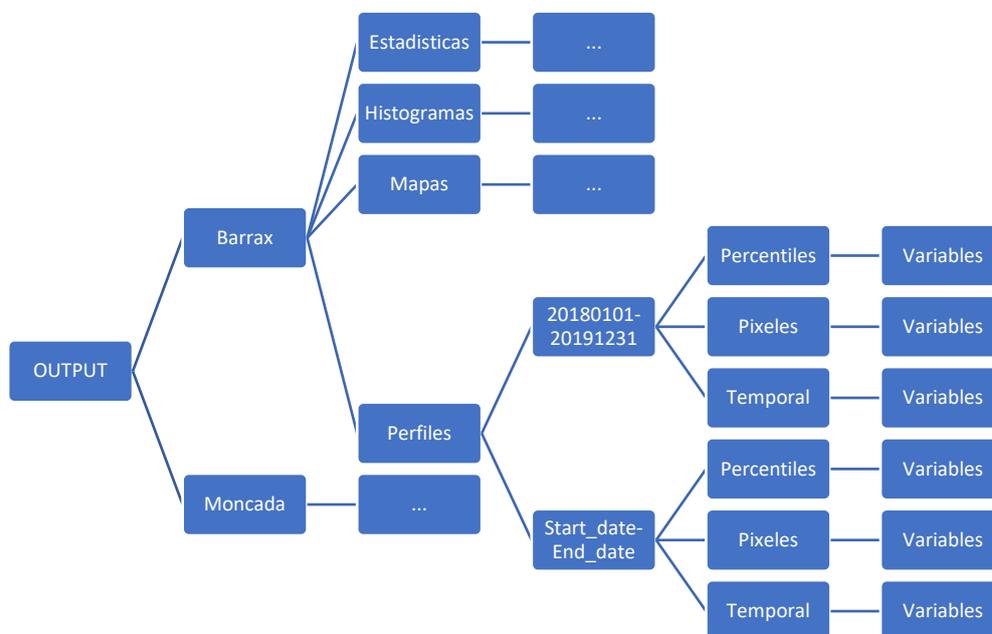


Figura 2. 11 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Barrax (Quality_Control.m)

Y para la zona de Moncada los resultados se almacenan en la misma carpeta llamada “OUTPUT” siguiendo la siguiente distribución de carpetas:

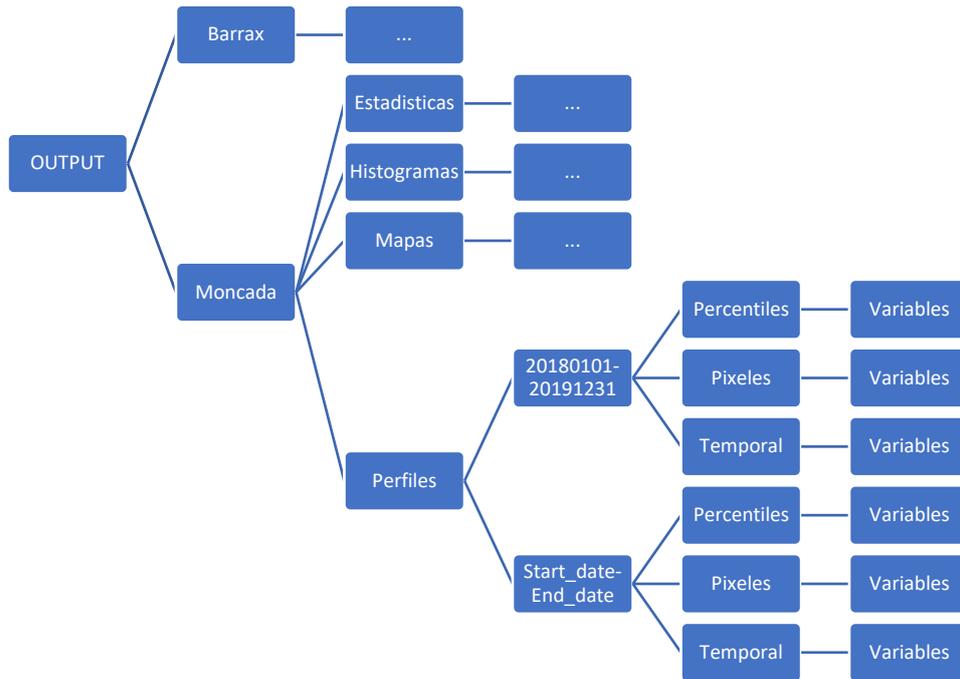


Figura 2. 12 - Distribución de resultados en la carpeta OUTPUT para la zona de Moncada (Quality_Control.m)

Capítulo 3. Ejemplos de aplicación

En este capítulo se van a mostrar ejemplos de ejecución del programa implementado descrito en el capítulo anterior. Los ejemplos de ejecución se centran en los resultados generados para el satélite S2 de los parámetros biofísicos (LAI, FAPAR y FCOVER) de las dos zonas de estudio Barrax y Moncada, para así evitar alargar la extensión de la memoria.

Hay que comentar que se presentan en este apartado algunos ejemplos de mapas, histogramas y perfiles generados para parámetros biofísicos para cada zona, pero en el anexo II se adjuntan algunos ejemplos de los resultados generados del satélite S2 del resto de los parámetros ET, LST y NDVI.

3.1 Zona de estudio Barrax

Inicialmente se obtienen los mapas y los histogramas para el periodo de referencia para la zona de Barrax utilizando el fichero Images.m.

3.1.1 Mapas e Histogramas para el estudio de consistencia espacial

En este apartado se van a mostrar la ejecución del programa y los resultados generados para el estudio de la consistencia espacial de los parámetros biofísicos (LAI, FAPAR y FCOVER) con el objetivo de validar los resultados generados en tiempo casi real comparando los con los resultados producto para las fechas de referencia.

En la siguiente figura se muestra la ejecución del código Images.m para la zona de Barrax en la que se introducen los inputs de dicho código para generar mapas e histogramas en el periodo de referencia (2018-2019):

```
Command Window
>> Images
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231
fx Enter the zone number (1 for Barrax or 2 for Moncada): 1|
```

Figura 3. 1 – Ejemplo de ejecución fichero Images.m para el periodo de referencia zona Barrax

A continuación, se muestra la ejecución del código Quality_Control.m para generar mapas e histogramas para el periodo posterior al periodo de referencia para la zona de Barrax.

En la siguiente figura se muestra la ejecución del código Quality_Control.m para el mes de enero de 2020 en el que se introducen los inputs de dicho código:

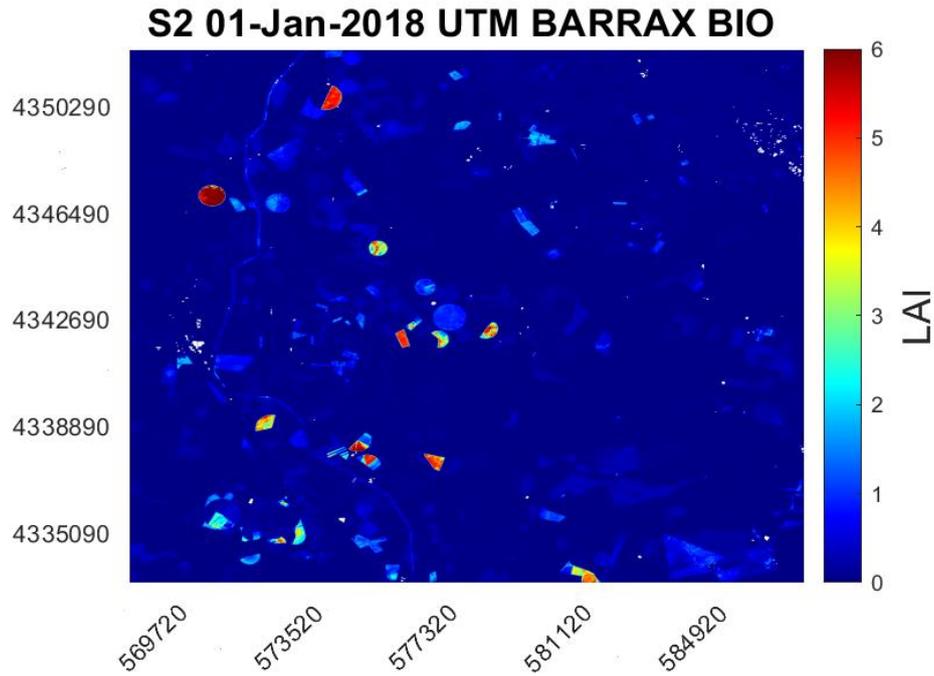
```
Command Window
>> Quality_Control
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20200101
Enter the final date (YYYYMMDD): 20200131
fx Enter the zone number (1 for Barrax or 2 for Moncada): 1|
```

Figura 3. 2 - Ejemplo de ejecución fichero Quality_Control.m para enero de 2020 zona Barrax

Cabe comentar que en la anterior figura se presenta solo la ejecución del código para el mes de enero de 2020, pero se realizan ejecuciones mensuales del código para todas las fechas del año 2020, aunque las ejecuciones podrían ser variables en fechas, es decir no solo mensuales.

Cabe destacar que el código Quality_Control.m además de generar mapas e histogramas genera perfiles también, pero los últimos resultados generados se presentan en los siguientes apartados.

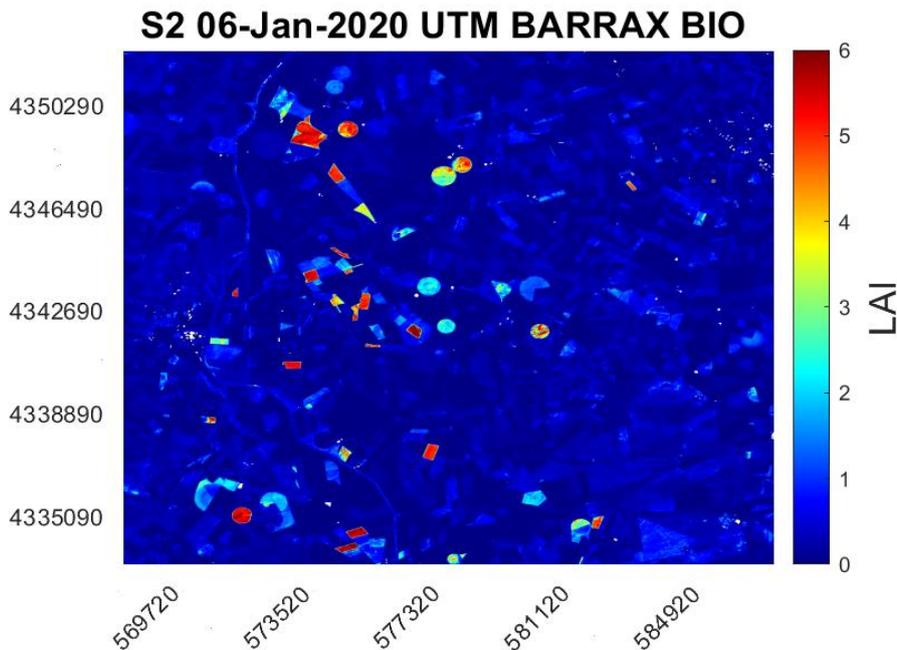
A continuación, se van a comparar los mapas e histogramas generados para LAI, FAPAR y FCOVER durante el primer trimestre del año 2020 con los obtenidos en el año de referencia 2018:



UTM Zone 30 NORTH (meters)

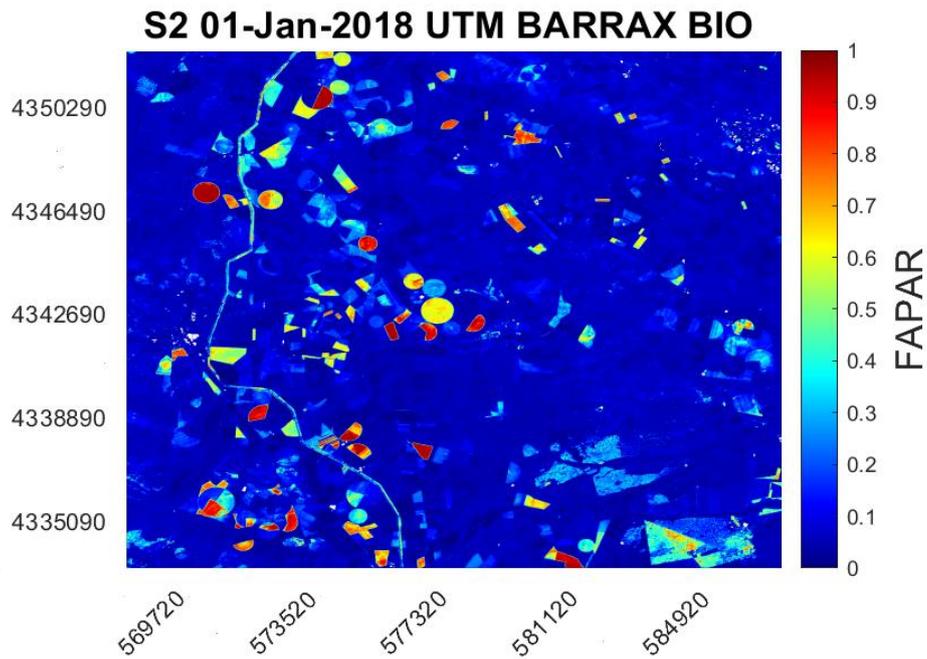
Figura 3. 3 - Mapa de LAI fecha 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

Se debe comentar que la anterior figura corresponde al mapa obtenido del parámetro LAI generado para el satélite S2 en la fecha de 1 de enero de 2018. Cabe destacar también de la figura anterior que el eje X e Y corresponden a las coordenadas geográficas en X e Y en sistema UTM en metros. El color de barras situada en la parte derecha de la figura hace referencia al margen de valores del parámetro en cuestión (en el caso de la figura anterior corresponde con el parámetro LAI como se indica en la figura). Estos campos se aplican para todos los ejemplos de mapas presentes en este capítulo de la memoria.



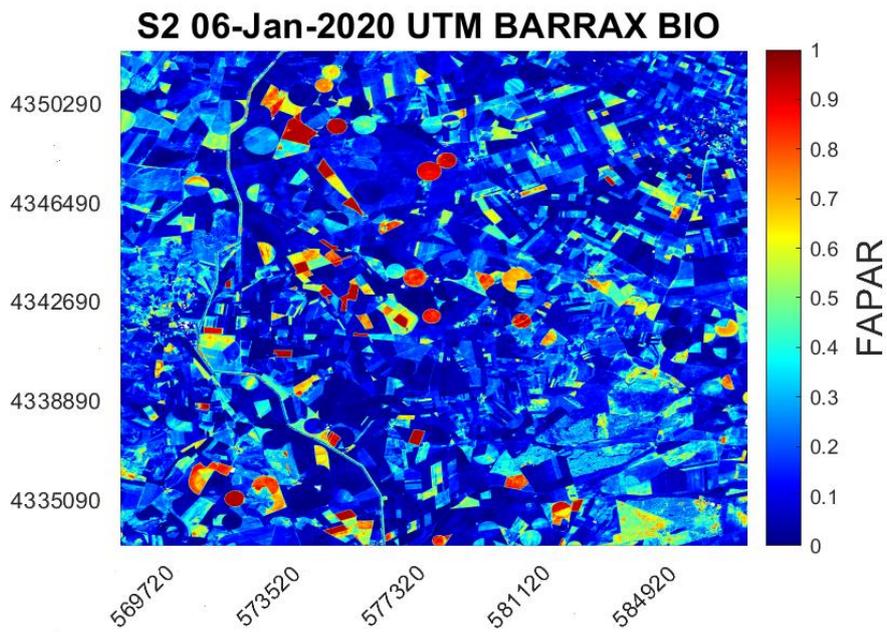
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 4 - Mapa de LAI fecha 6 de enero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

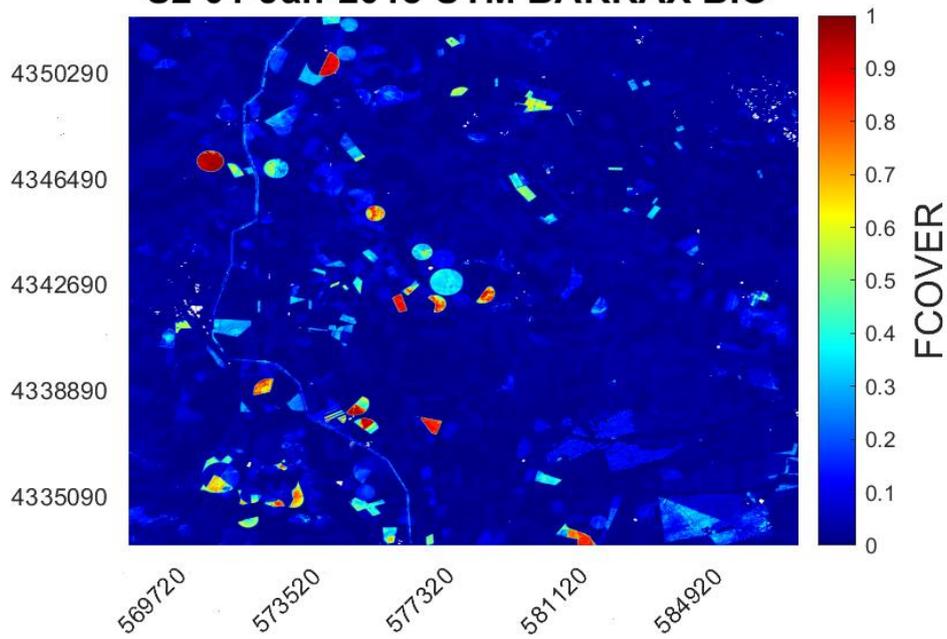
Figura 3. 5 - Mapa de FAPAR fecha 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 6 - Mapa de FAPAR fecha 6 de enero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

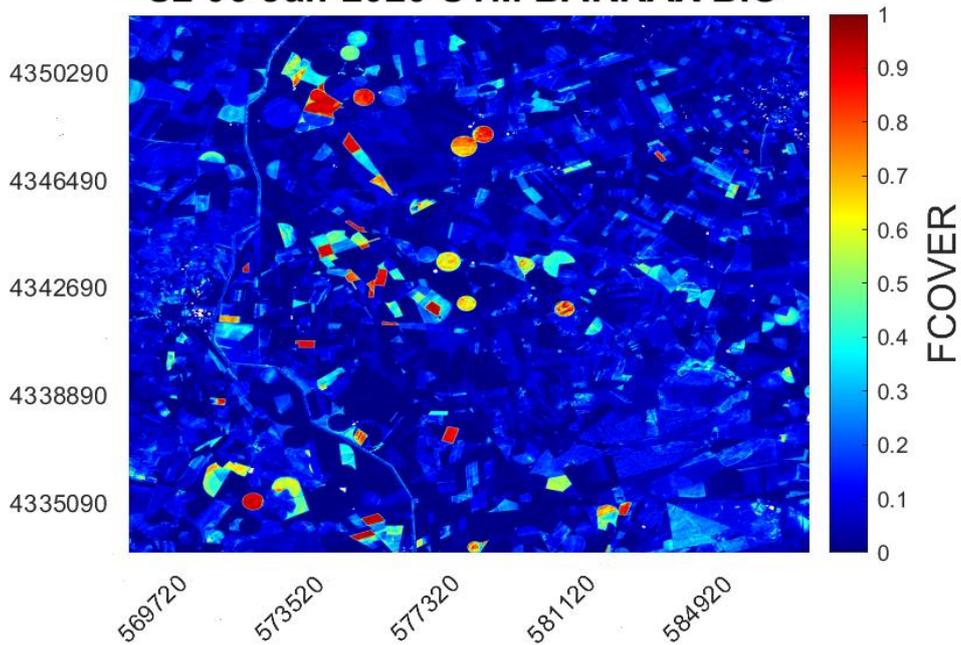
S2 01-Jan-2018 UTM BARRAX BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 7 - Mapa de FCOVER fecha 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

S2 06-Jan-2020 UTM BARRAX BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 8 - Mapa de FCOVER fecha 6 de enero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

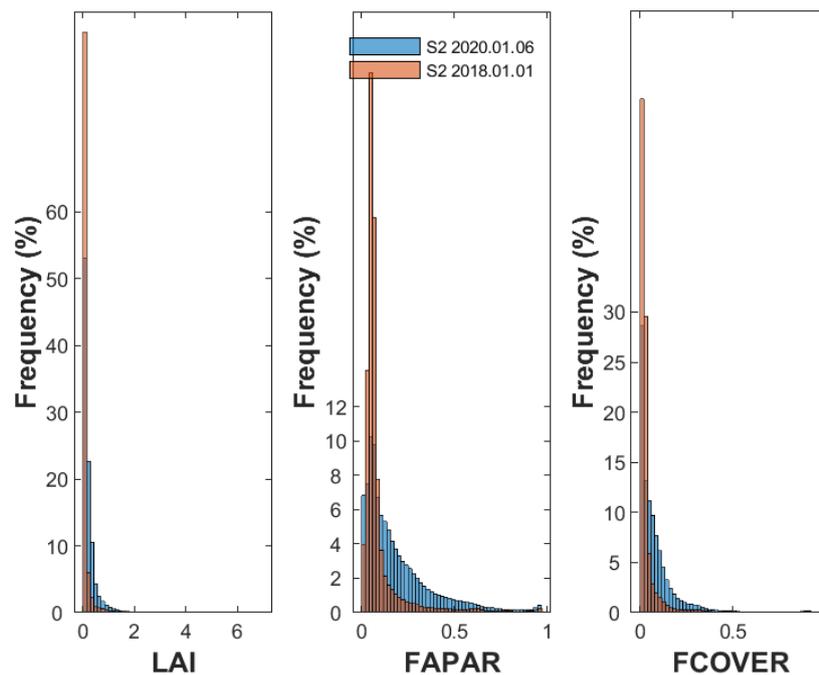
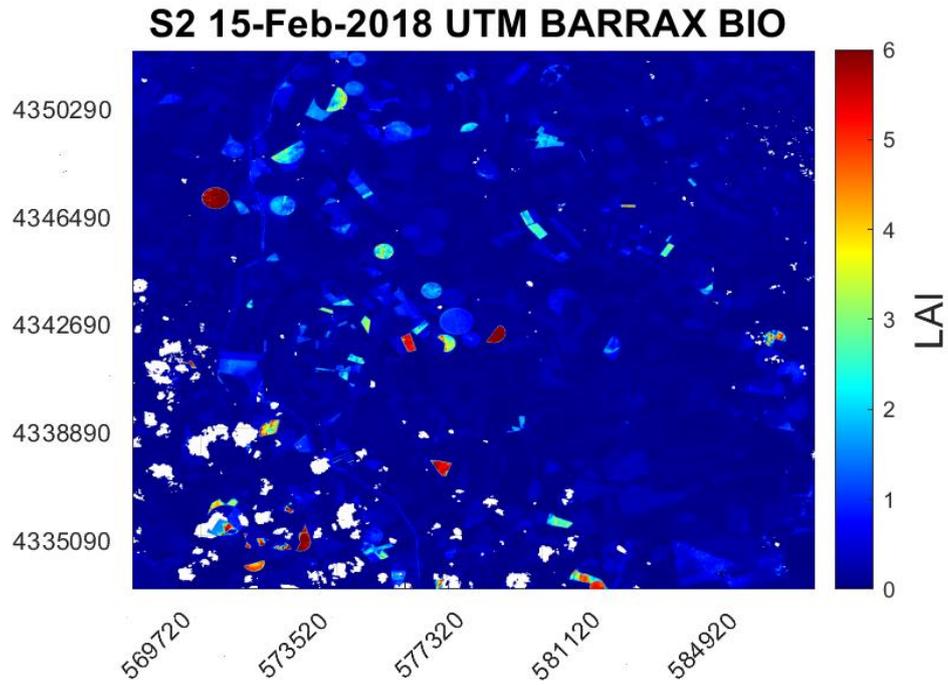


Figura 3. 9 - Histograma comparativo BIO (LAI, FAPAR y FCOVER) entre fecha 6 de enero de 2020 y 1 de enero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

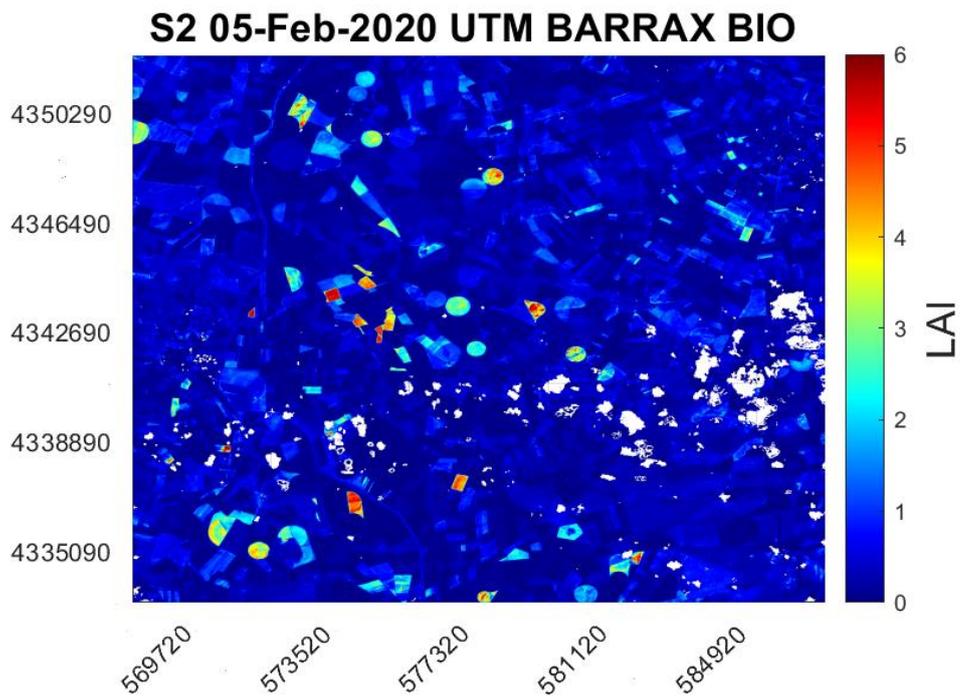
De la figura anterior cabe destacar que para la figura de los histogramas de los parámetros biofísicos LAI, FAPAR y FCOVER se representa en una misma figura, ya que se interesa estudiarlas conjuntamente. Cabe comentar también de la figura anterior, que los ejes X corresponden a los márgenes de los valores de cada parámetro en cuestión, y los ejes Y corresponden a la frecuencia en % de los valores presentes en todo el mapa de cada parámetro en cuestión. En la leyenda de la figura anterior se indica la fecha y el satélite del mapa a partir de la cual se obtiene el histograma. Estos campos se aplican para todos los histogramas que se presentan en esta memoria. Cabe observar que en los histogramas generados para fechas igual o superiores a 1 de enero de 2019 se empiezan a representar los histogramas comparativos entre el histograma de fecha en cuestión y el histograma de fecha más próxima al del año 2018 de referencia. En el caso de la figura anterior se representa el histograma de fecha en cuestión en color azul (histograma de 6 de enero de 2020) con el histograma comparativo en color marrón (histograma de 1 de enero de 2018) interpolados entre ellos (histograma en color marrón oscuro). Esto aplicaría en todos los histogramas comparativos generados.

Por otra parte, se debe comentar que los valores obtenidos para las fechas de 6 enero de 2020 para los tres parámetros LAI, FAPAR y FCOVER son muy parecidos a los del 1 de enero de 2018, aunque la frecuencia en % de los valores más bajos cercanos a 0 es menor en los del 2020 comparados con los del 2018 para esas fechas comentadas. Mientras que la frecuencia en % de los valores más altos entre 1 y 2 para LAI e 0,2 y 0,6 para FAPAR y FCOVER es mayor para los del 2020 comparados con los del 2018 para esas fechas.



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 10 - Mapa de LAI fecha 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 11 - Mapa de LAI fecha 5 de febrero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

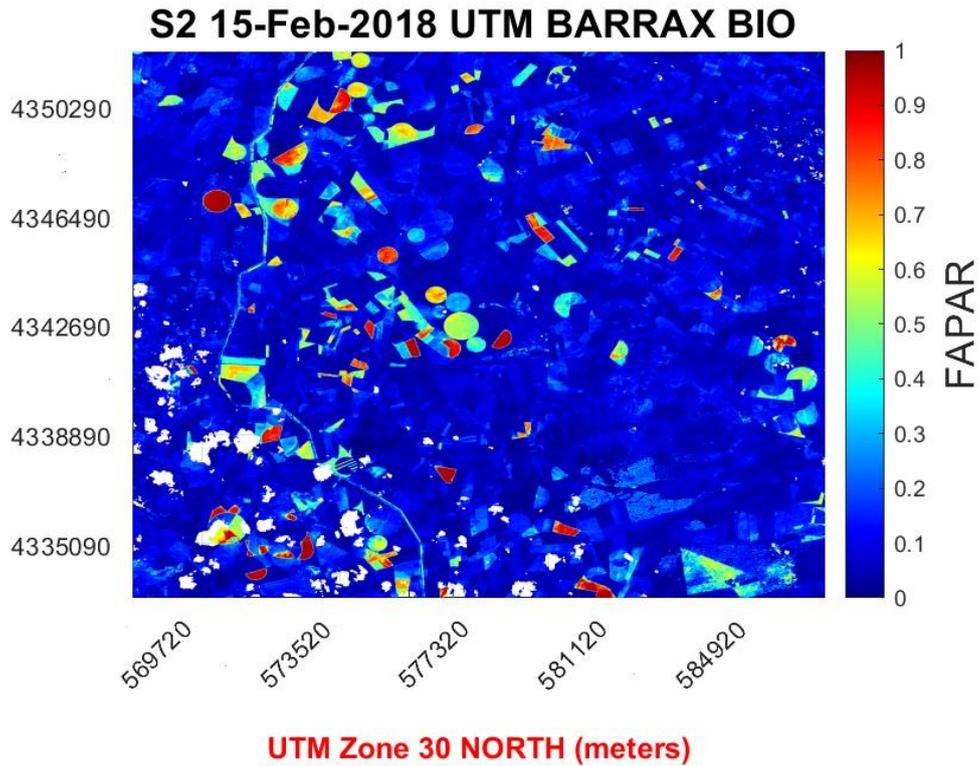


Figura 3. 12 - Mapa de FAPAR fecha 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

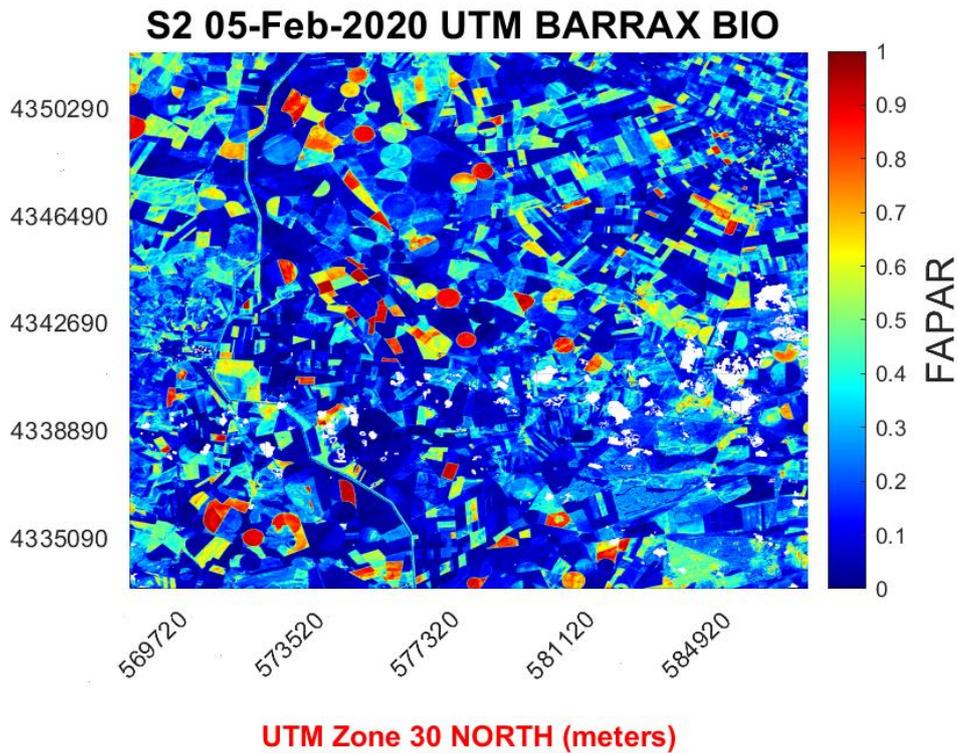


Figura 3. 13 - Mapa de FAPAR fecha 5 de febrero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

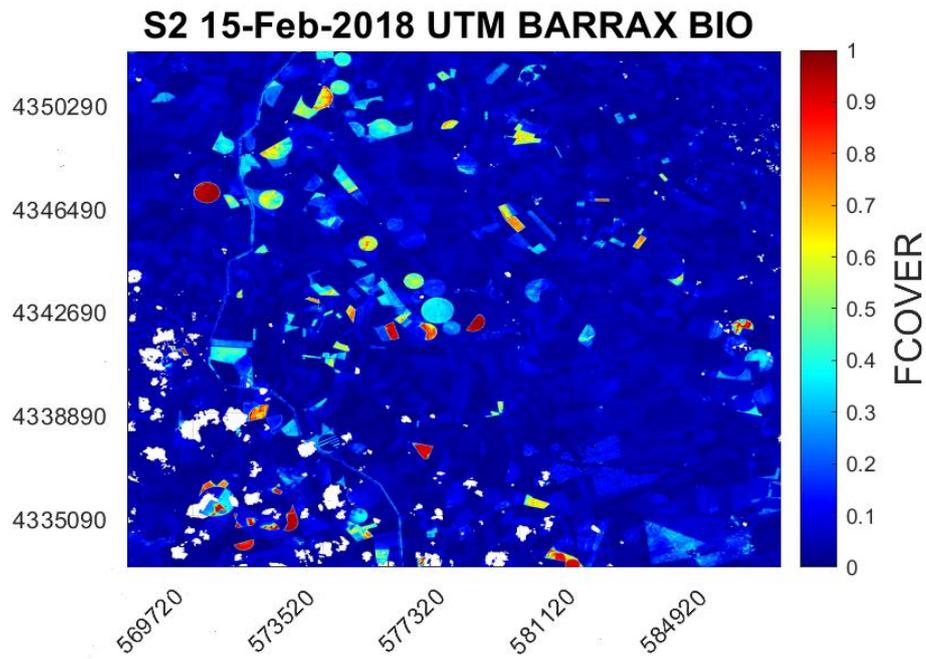


Figura 3. 14 - Mapa de FCOVER fecha 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

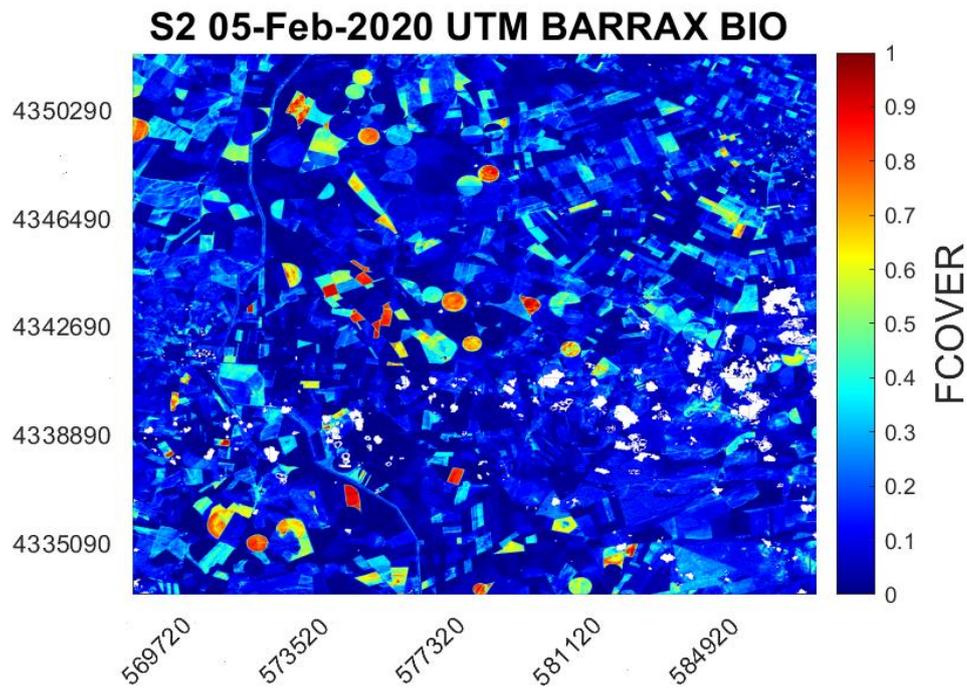


Figura 3. 15 - Mapa de FCOVER fecha 5 de febrero de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

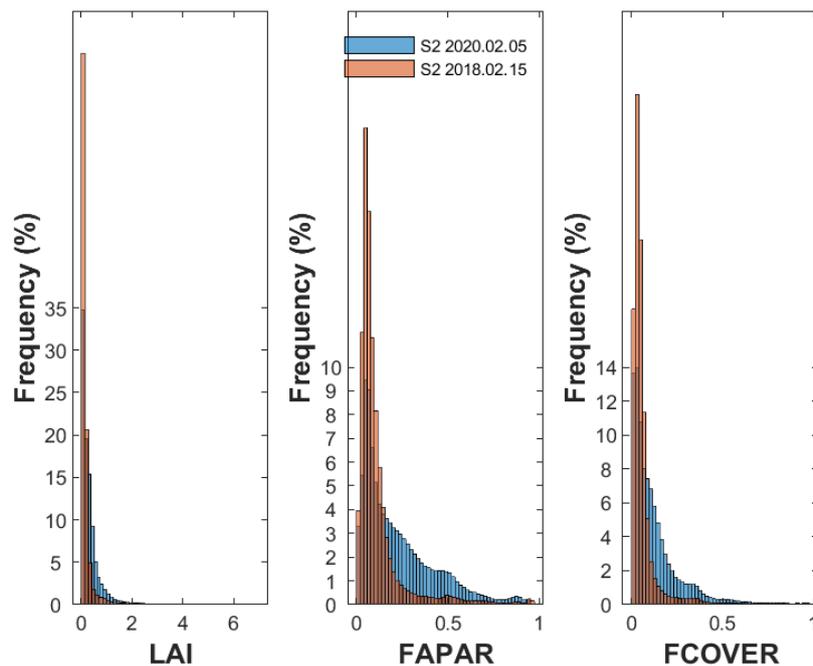


Figura 3. 16 - Histograma comparativo BIO (LAI, FAPAR y FCOVER) entre fecha 2 de febrero de 2020 y 15 de febrero de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

Hay que comentar que igual que en el caso de los mapas de fecha de enero anteriormente mostrados en febrero tenemos también generalmente la distribución de valores parecidas entre 2020 y 2018, con excepciones de que para valores más bajos cercanos a 0 la frecuencia en % de valores de los tres parámetros es mayor para las fechas del 2020 y por otro lado para los valores más altos (entre 1 y 2 para LAI e 0,3 y 0,5 para FAPAR e FCOVER) tenemos picos de frecuencia en % mayores en los mapas de 2020 comparados con los del 2018 para estas fechas también.

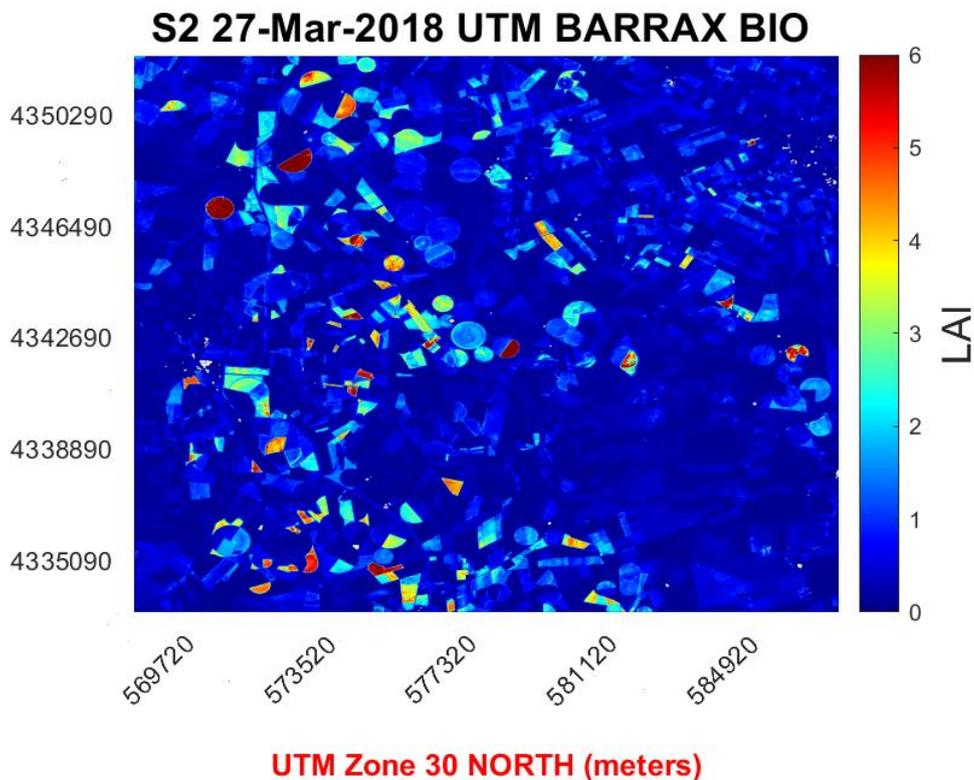
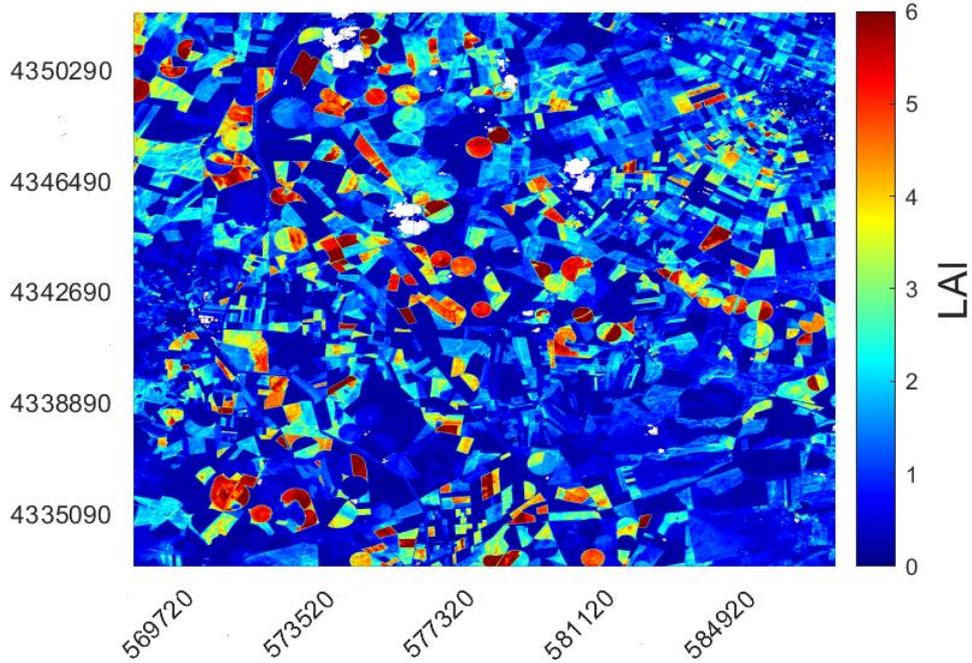


Figura 3. 17 - Mapa de LAI fecha 27 de MARZO de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

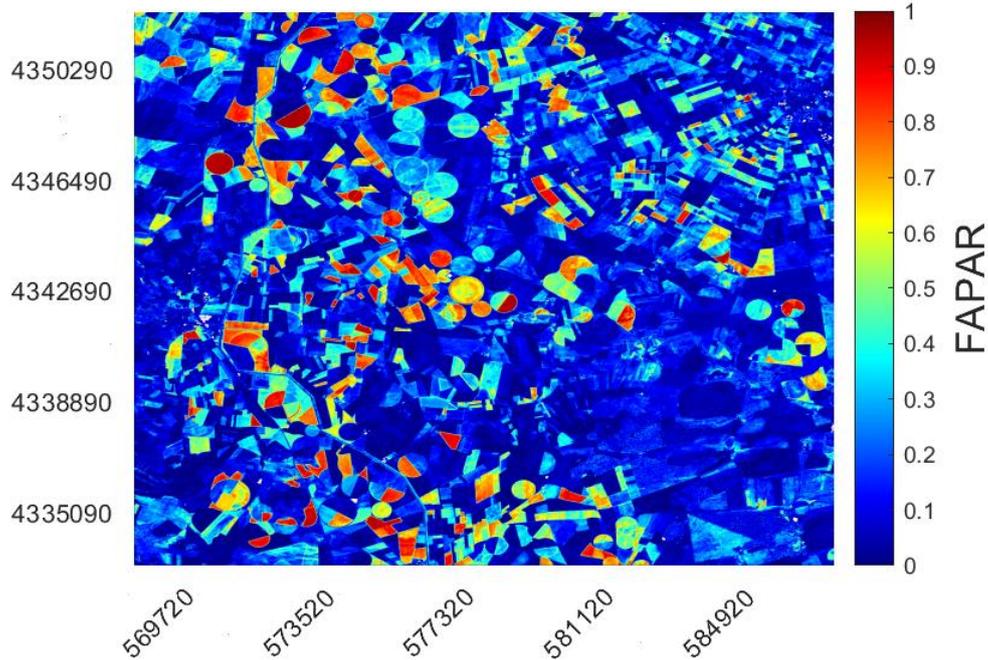
S2 26-Mar-2020 UTM BARRAX BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 18 - Mapa de LAI fecha 26 de MARZO de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

S2 27-Mar-2018 UTM BARRAX BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 19 - Mapa de FAPAR fecha 27 de MARZO de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

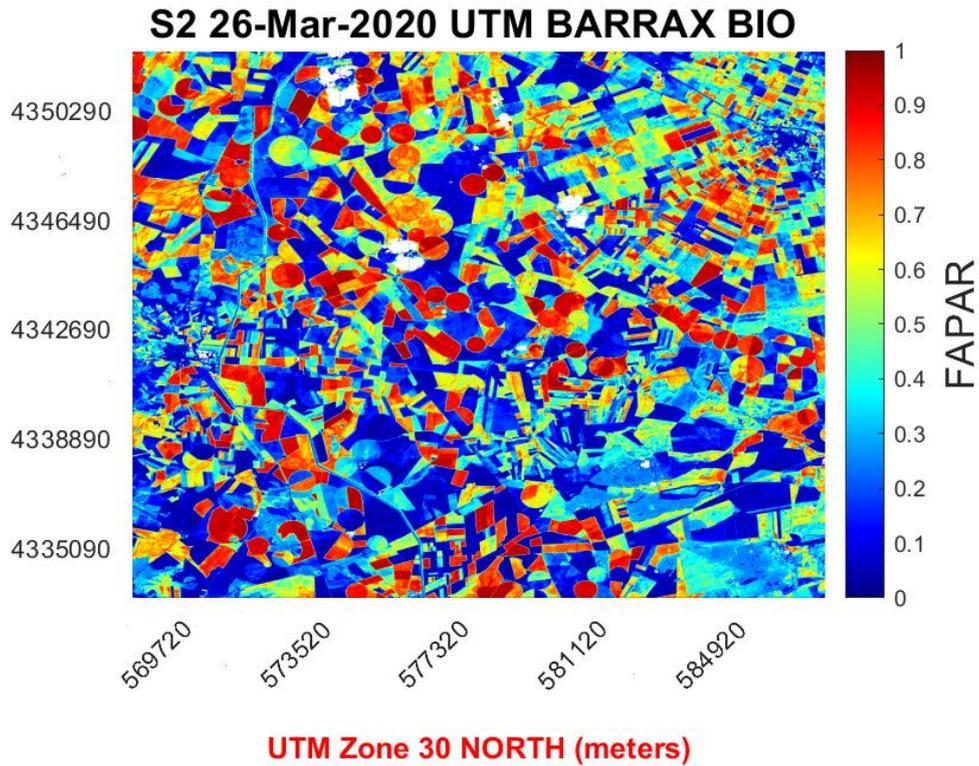


Figura 3. 20 - Mapa de FAPAR fecha 26 de MARZO de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

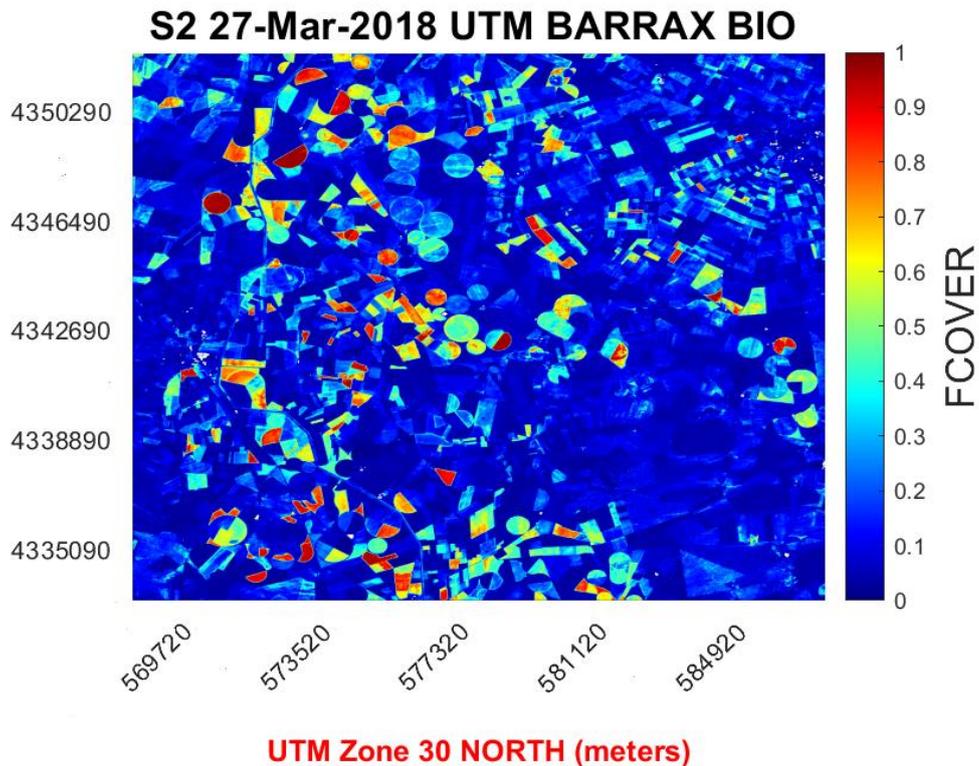


Figura 3. 21 - Mapa de FCOVER fecha 27 de MARZO de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

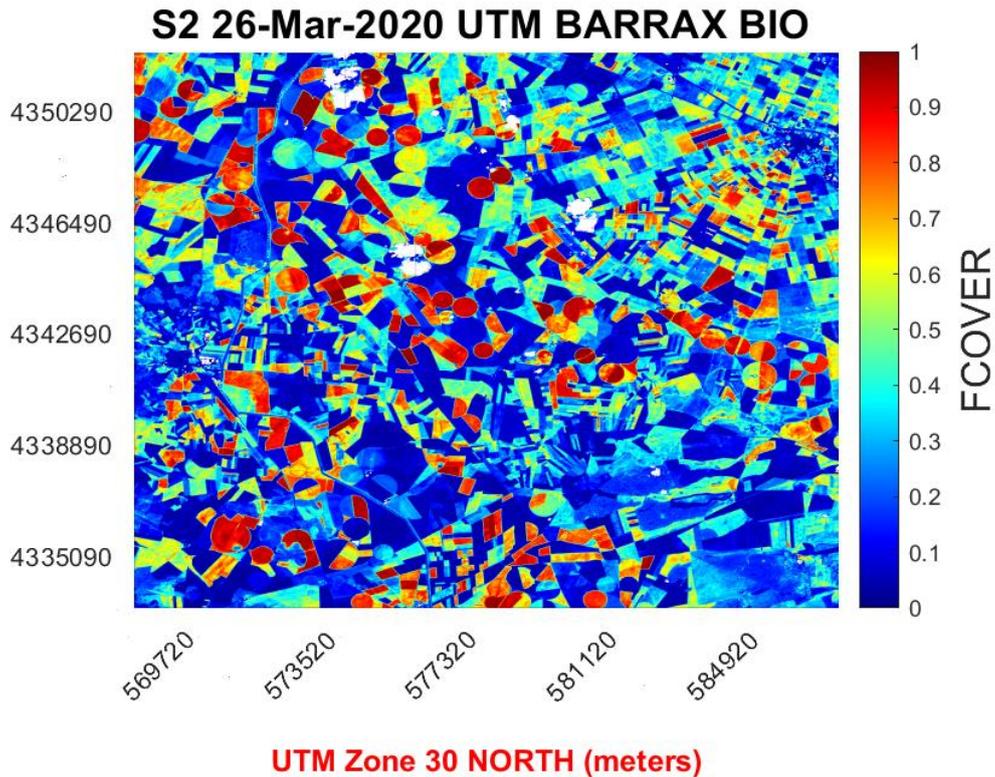


Figura 3. 22 - Mapa de FCOVER fecha 26 de MARZO de 2020 para la zona de Barrax satélite S2

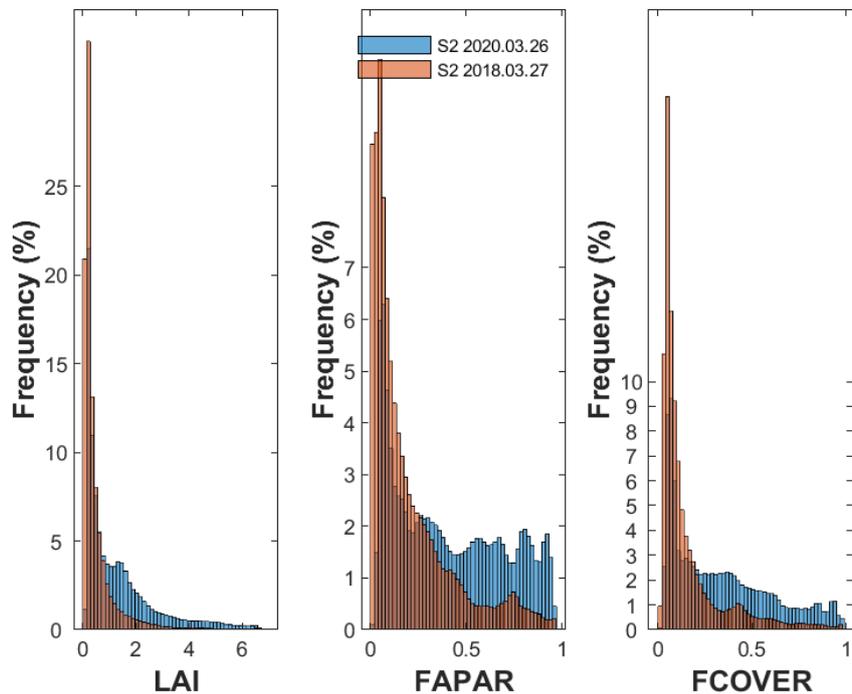


Figura 3. 23 - Histograma comparativo BIO (LAI, FAPAR y FCOVER) entre fecha 3 de marzo de 2020 y 27 de marzo de 2018 para la zona de Barrax satélite S2

En este caso para las fechas de marzo del 2020 la frecuencia en % de los valores obtenidos es similar a los del marzo 2018, pero a diferencia de anteriores meses para esta fecha de marzo tenemos mayores picos de frecuencia de valores en % para los valores más altos (entre 1 y 6 para LAI e entre 0,5 y 1 para FAPAR y FCOVER) de los tres parámetros.

En general se puede concluir que la distribución de los valores que siguen las fechas de 2020 para los tres parámetros biofísicos es muy parecida a las fechas de 2018 de esta zona

3.1.2 Perfiles temporales para el estudio de consistencia temporal

Una vez generados los mapas e histogramas el siguiente paso es de generar los perfiles temporales, los perfiles del número de píxeles y los perfiles de percentiles.

En este apartado se van a mostrar la ejecución del programa y los resultados generados para el estudio de consistencia temporal de los parámetros biofísicos (LAI, FAPAR y FCOVER) con el objetivo de validar los resultados generados en tiempo casi real comparando los con los resultados obtenidos para las fechas de referencia.

En la siguiente figura se muestra la ejecución del código TP_Barrax.m para la zona de Barrax en la que se introducen los inputs de dicho código para generar perfiles en el periodo de referencia (2018-2019):

```
Command Window
>> TP_Barrax
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
fx Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231
```

Figura 3. 24 - Ejemplo de ejecución fichero TP_Barrax.m para el periodo de referencia zona Barrax

Para generar los perfiles en tiempo casi real se utiliza el mismo código Quality_Control.m, ejecutando para las fechas posteriores tal y como se observa en la Figura 3.2.

A continuación, se presentan algunos ejemplos (Para CP1, CP6 y CP10 de la Tabla 1.3) de los perfiles temporales generados para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER hasta 31 de julio de 2021 en casi tiempo real (near real time):

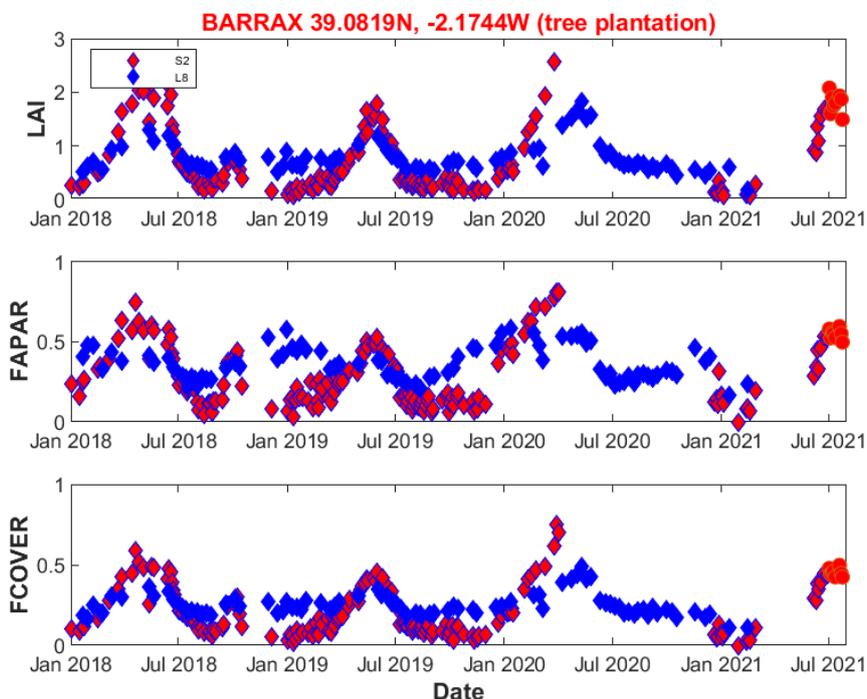


Figura 3. 25 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP1 representado hasta 31 de julio de 2021

Se observa en la anterior figura la representación de los perfiles temporales para el CP1 (Tabla 1.3) de los parámetros biofísicos LAI, FAPAR y FCOVER conjuntamente. Donde los ejes X representan el eje temporal del perfil, en el que cada pico vertical indica el primer día del mes en cuestión. Por otro lado, en los ejes Y se representan los valores de cada parámetro en cuestión.

En los perfiles temporales como en la anterior figura se ven representados los valores obtenidos para cada CP (en este caso para el CP1 de la Tabla 1.3) de los parámetros en cuestión a lo largo del tiempo. Cabe destacar que los valores generados del satélite L8 se representan en color azul y los valores generados del satélite S2 se representan en color rojo, tal y como se indica la leyenda de la figura del parámetro LAI.

Todo lo dicho en los dos párrafos anteriores se aplica para todos los perfiles temporales mostrados en esta memoria.

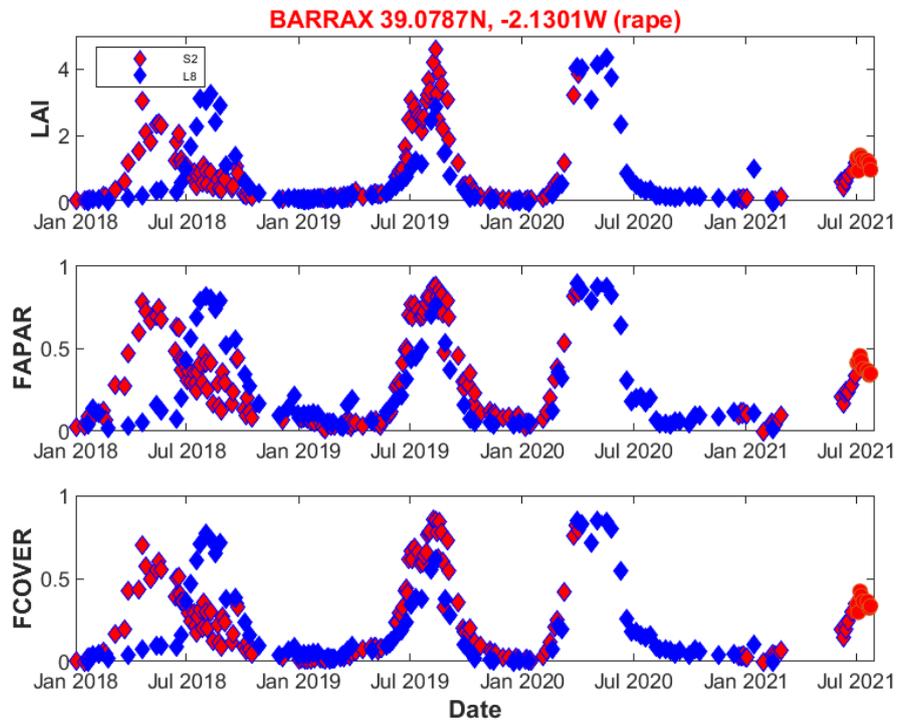


Figura 3. 26 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP6 representado hasta 31 de julio de 2021

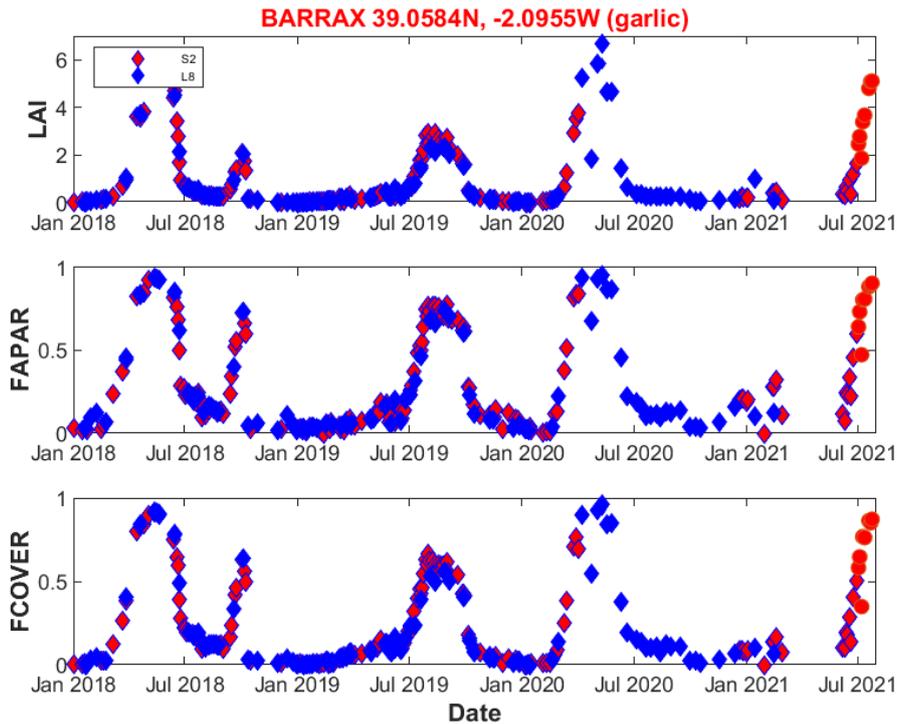


Figura 3. 27 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP10 representado hasta 31 de julio de 2021

Cabe destacar de la anterior figura que los valores de cada parámetro para las fechas del último mes ejecutado con el código `Quality_Control.m` se representan como círculos tanto para el satélite L8 (en color azul) como para el satélite S2 (en color rojo). Esto aplica en todos los perfiles presentes en este apartado.

También podemos observar en las anteriores figuras el lapsus que se presenta en los valores generados desde 4 de abril de 2020 hasta 20 de diciembre de 2021 para el satélite S2, ya que para esas fechas no se obtiene ningún valor para los perfiles temporales de este satélite por no haber imágenes en el servidor de EOLAB.

Se observa en las anteriores figuras de los perfiles temporales para el CP1, CP6 y CP10 para todos los parámetros la distribución de los valores de cada parámetro sigue una forma mayoritariamente similar a los valores obtenidos para los años 2018-2019 que es el periodo validado.

Seguidamente se muestran los perfiles del número de píxeles generados para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER hasta 31 de julio de 2021 en casi tiempo real (near real time):

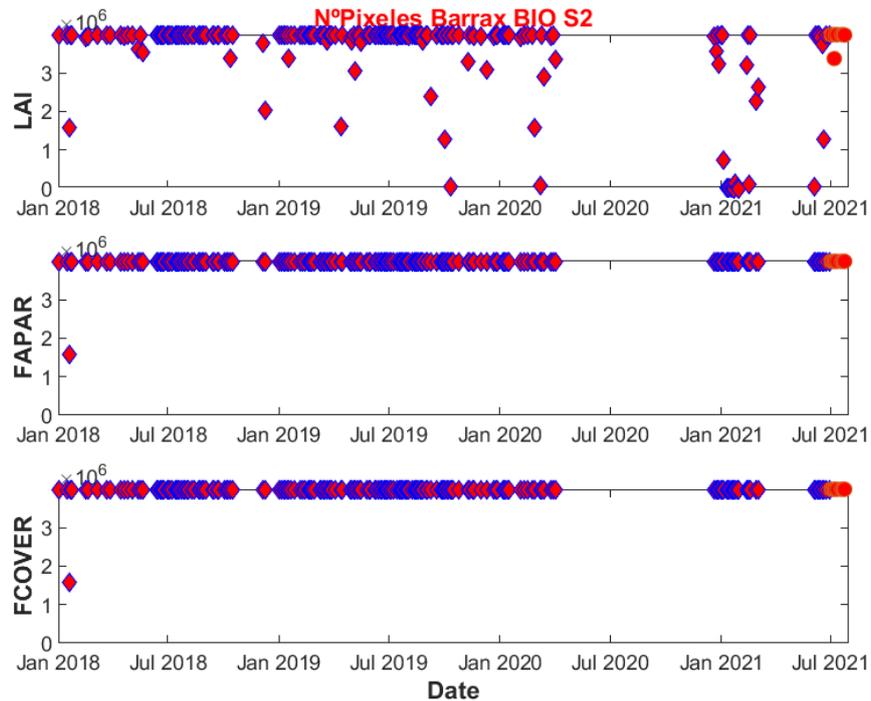


Figura 3. 28 - Perfil del número de píxeles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite S2

En la anterior figura se observa representado el número de píxeles válidos de cada parámetro en cuestión a lo largo del tiempo, donde el eje Y indica el número de píxeles válidos y el eje X indica el periodo temporal, en este caso va desde 1 de enero de 2018 hasta 31 de julio de 2021. Esta estructura de los ejes aplica para todos los perfiles del número de píxeles mostrados en esta memoria.

Para todos los parámetros biofísicos se observan en la anterior figura que se obtienen mayoritariamente un número de píxeles válidos cerca del número total de píxeles para cada fecha, aunque para el parámetro LAI se tienen algunas fechas donde se obtienen un número de píxeles válidos menores, eso debidos por las nubosidades u otros factores meteorológicos presentes durante la captura de las imágenes por los satélites S2 y L8.

A continuación, se muestran los perfiles de percentiles generados para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER hasta 31 de julio de 2021 en casi tiempo real (near real time):

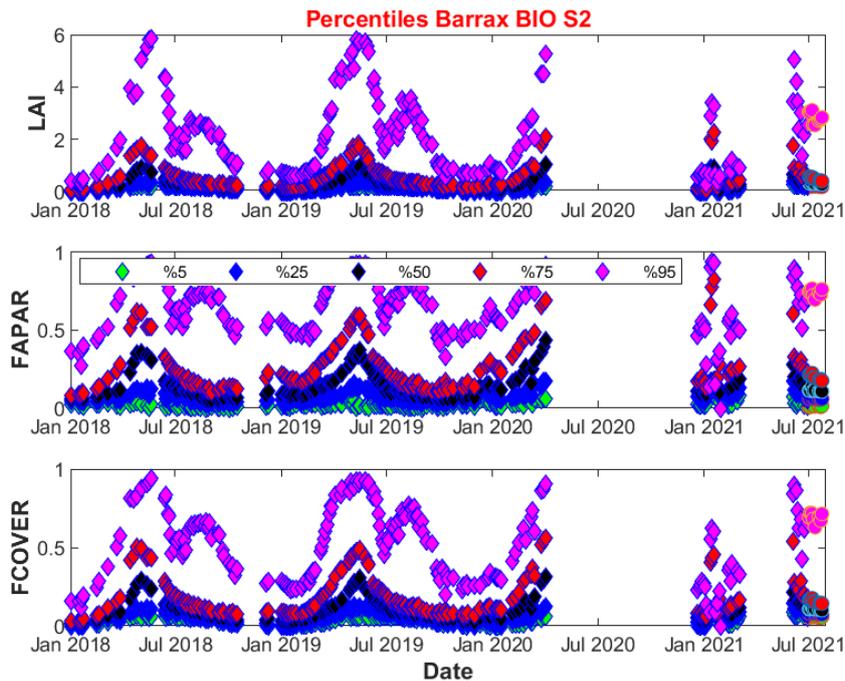


Figura 3. 29 - Perfil de percentiles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite S2

En la anterior figura se observan representados los percentiles del 5%, 25%, 50%, 75% y de 95% de cada parámetro en cuestión a lo largo del tiempo de los datos de mapas generados, donde el eje X indica el valor de cada percentil y el eje Y el periodo temporal, en este caso va desde 1 de enero de 2018 hasta 31 de julio de 2021. Esta definición de ejes se aplica para todos los perfiles de los percentiles mostrados en esta memoria.

Se observan en las anteriores figuras que para los tres parámetros biofísicos la distribución de los percentiles presentes de los años 2020 y 2021 mayoritariamente sigue una forma similar a los valores obtenidos para para los años 2018-2019.

Cabe destacar que desde 4 de abril de 2020 hasta 20 de diciembre de 2021 no se capturan imágenes en el servidor de EOLAB para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER.

3.1.3 Estadísticas

Finalmente se presentan en la siguiente figura las estadísticas de los mapas generados hasta la fecha de 31 de julio de 2021 para la zona de Barrax:

BIO-S2:

24 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0.8307 GB).
Total archivo: 594 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021(20.6636 GB).

ET-S2:

1 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0.034612 GB).
Total archivo: 224 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (7.7532 GB).

LST-S2:

8 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0.2769 GB).
Total archivo: 269 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (9.3107 GB).

NDVI-S2:

8 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0.2769 GB).
Total archivo: 269 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (9.3107 GB).

Figura 3. 30 - Estadísticas de los mapas generados hasta 31 de julio de 2021 para el satélite S2 zona Barrax

En la anterior figura se observan el número de mapas generados en la última ejecución del código Quality_Control.m, y en total. El total de imágenes o productos procesados para los parámetros biofísicos para las fechas indicadas a través de los códigos Images.m (fechas del periodo de referencia) más para las fechas indicadas con el código Quality_Control.m para la zona de Barrax, es decir desde 1 de enero de 2018 hasta 31 de julio de 2021 son 594 imágenes procesadas. También se observan junto con el número de mapas generados el tamaño acumulado de estos mapas en Giga Bytes, entonces se ven que para los parámetros se han procesado 20,66 GB de datos para esta zona.

3.2 Zona de estudio Moncada

Inicialmente se obtienen los mapas y los histogramas para el periodo de referencia para la zona de Moncada utilizando el mismo código Images.m.

3.2.1 Mapas e Histogramas para el estudio de consistencia espacial

En este apartado se van a mostrar la ejecución del programa y los resultados generados para el estudio de consistencia espacial de los parámetros biofísicos (LAI, FAPAR y FCOVER) con el objetivo de validar los resultados generados en tiempo casi real comparando los con los resultados obtenidos para las fechas de referencia.

En la siguiente figura se muestra la ejecución del código Images.m para la zona de Moncada en la que se introducen los inputs de dicho código para generar mapas e histogramas en el periodo de referencia (2018-2019):

```
Command Window
>> Images
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231
fx Enter the zone number (1 for Barrax or 2 for Moncada): 2|
```

Figura 3. 31 - Ejemplo de ejecución fichero Images.m para el periodo de referencia zona Moncada

A continuación, se muestra la ejecución del código Quality_Control.m para generar mapas e histogramas para el periodo posterior al periodo de referencia para la zona de Moncada.

En la siguiente figura se muestra la ejecución del código Quality_Control.m para el mes de enero de 2020 en el que se introducen los inputs de dicho código:

```
Command Window
>> Quality_Control
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20200101
Enter the final date (YYYYMMDD): 20200131
fx Enter the zone number (1 for Barrax or 2 for Moncada): 2
```

Figura 3. 32 - Ejemplo de ejecución fichero Quality_Control.m para enero de 2020 zona Moncada

Cabe comentar que en la anterior figura se presenta solo la ejecución del código para el mes de enero de 2020, pero se realizan ejecuciones mensuales del código para todas las fechas del año 2020, aunque las ejecuciones podrían ser variables en fechas, es decir no solo mensuales.

Cabe destacar que el código Quality_Control.m además de generar mapas e histogramas genera perfiles también, pero los últimos resultados generados se presentan en los siguientes apartados.

A continuación, se van a comparar los mapas e histogramas generados para LAI, FAPAR y FCOVER durante el primer trimestre del año 2020 con los obtenidos en el año de referencia 2018:

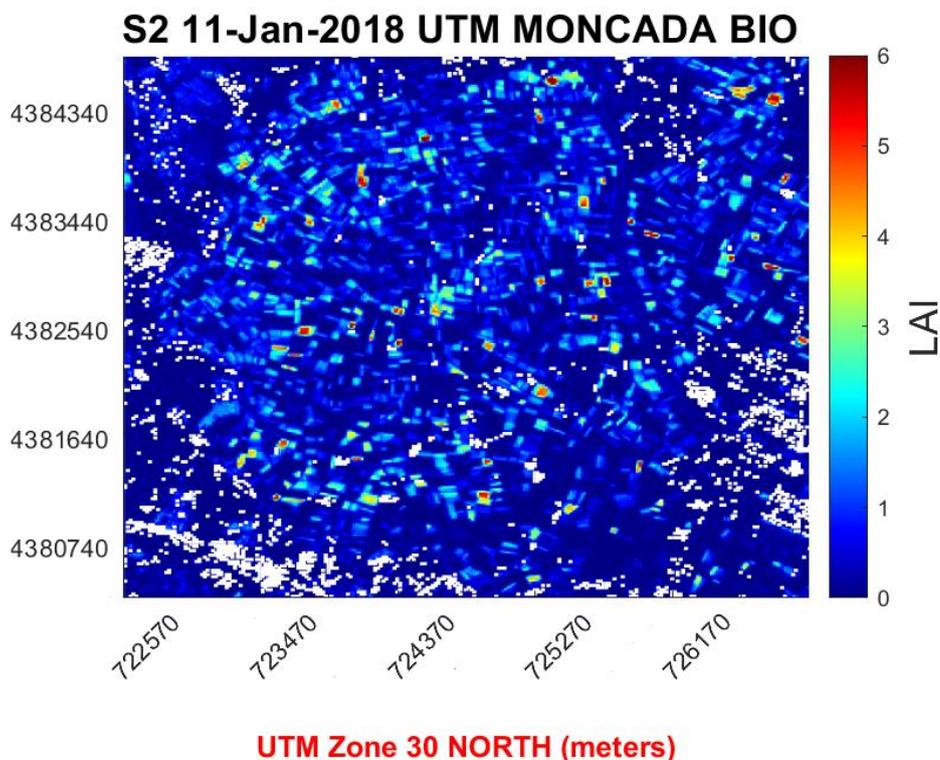
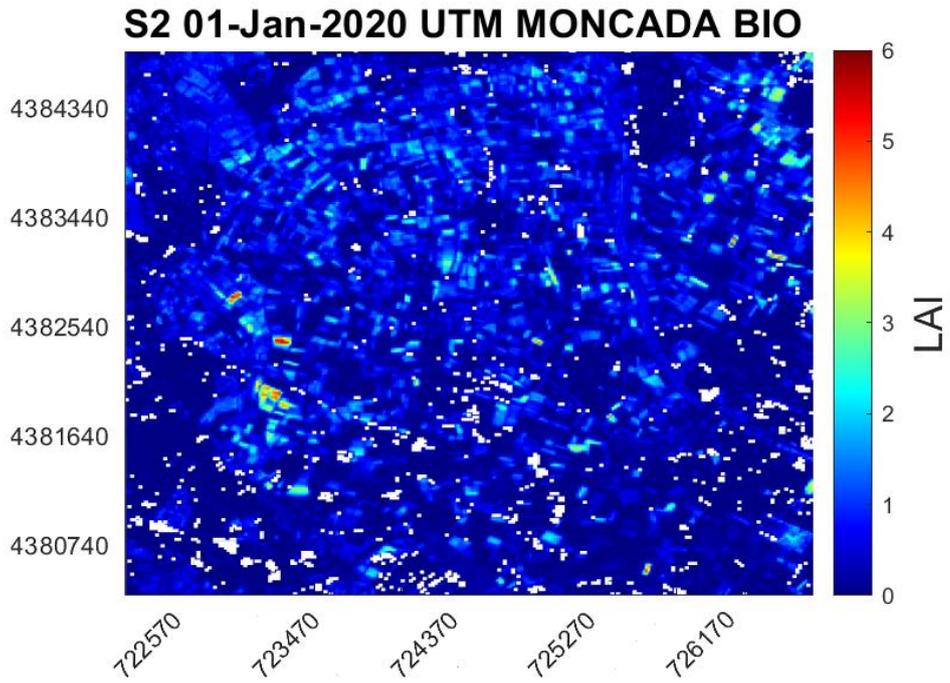
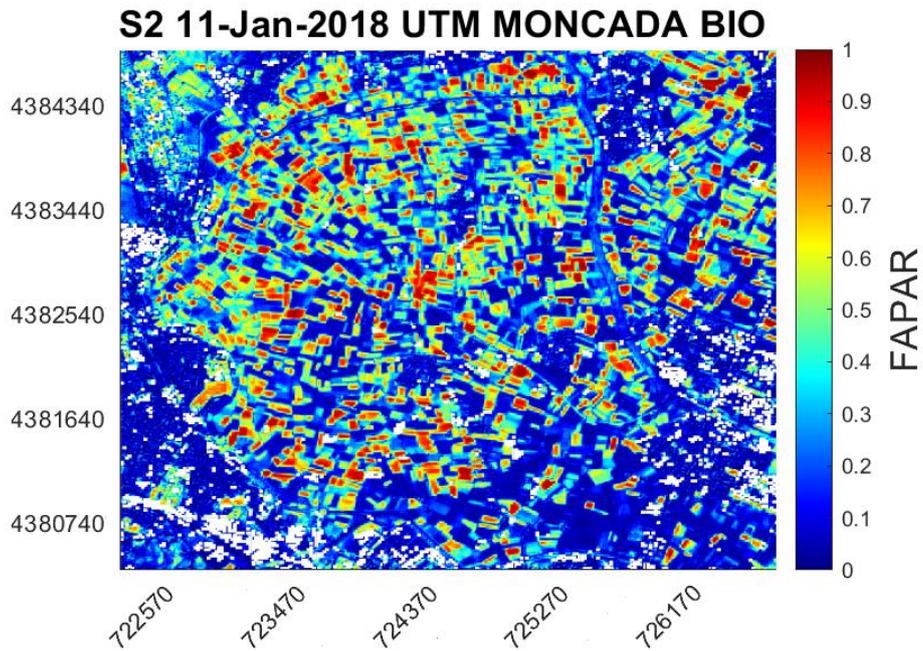


Figura 3. 33 - Mapa de LAI fecha 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



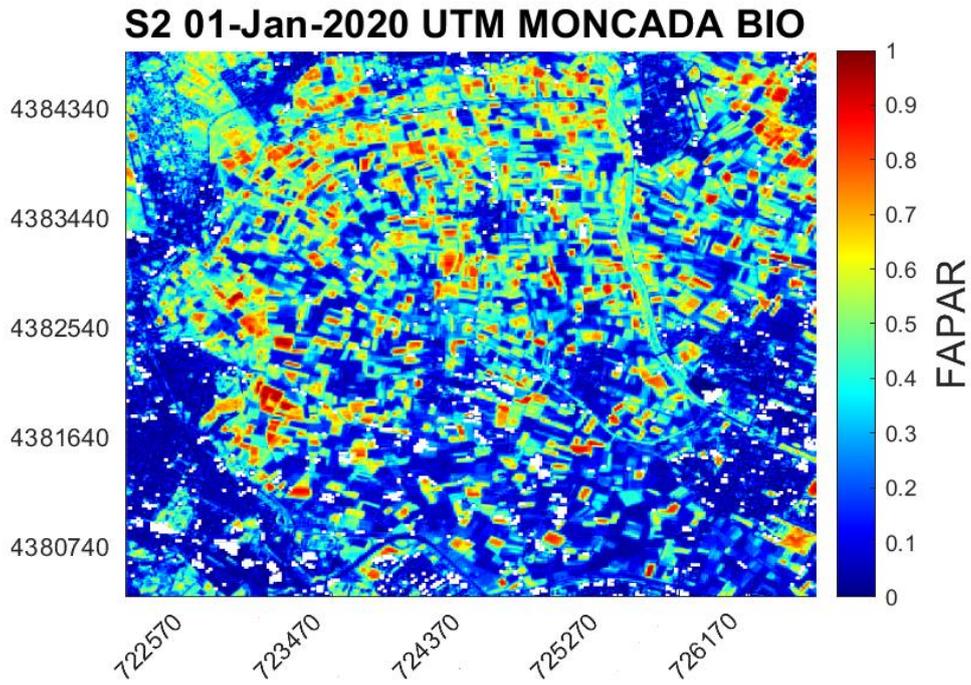
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 34 - Mapa de LAI fecha 01 de enero de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



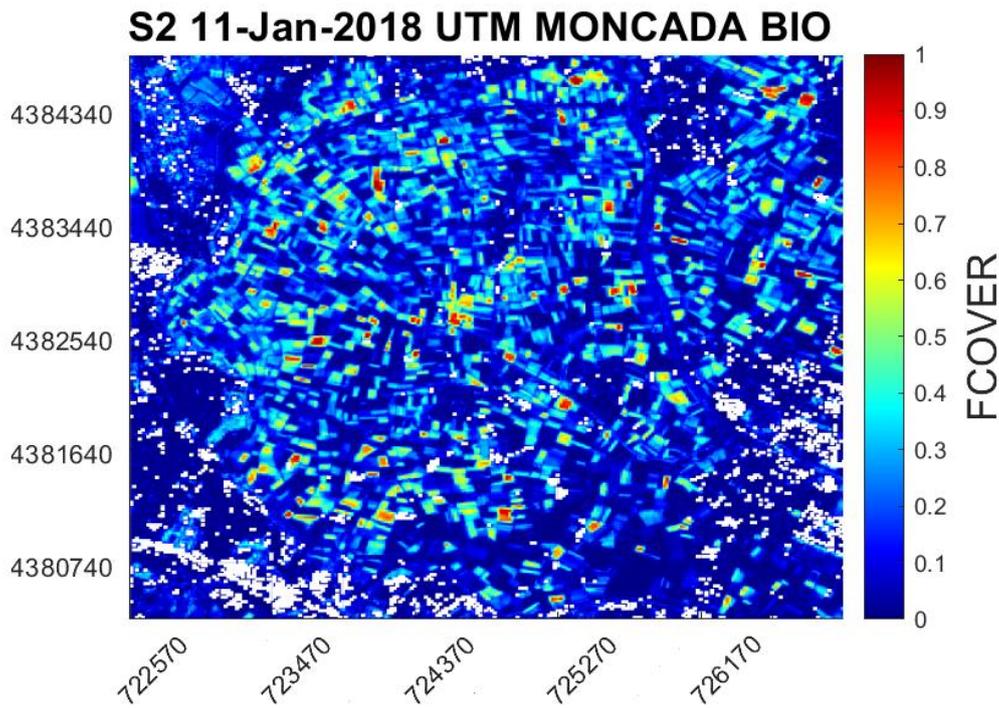
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 35 - Mapa de FAPAR fecha 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 36 - Mapa de FAPAR fecha 1 de enero de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 37 - Mapa de FCOVER fecha 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

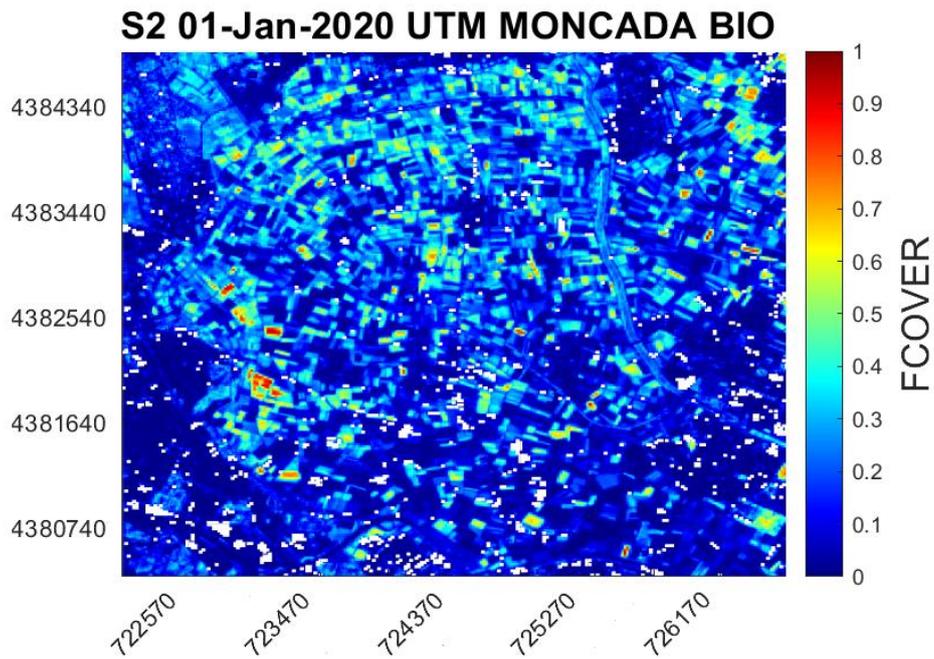


Figura 3. 38 - Mapa de FCOVER fecha 1 de enero de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

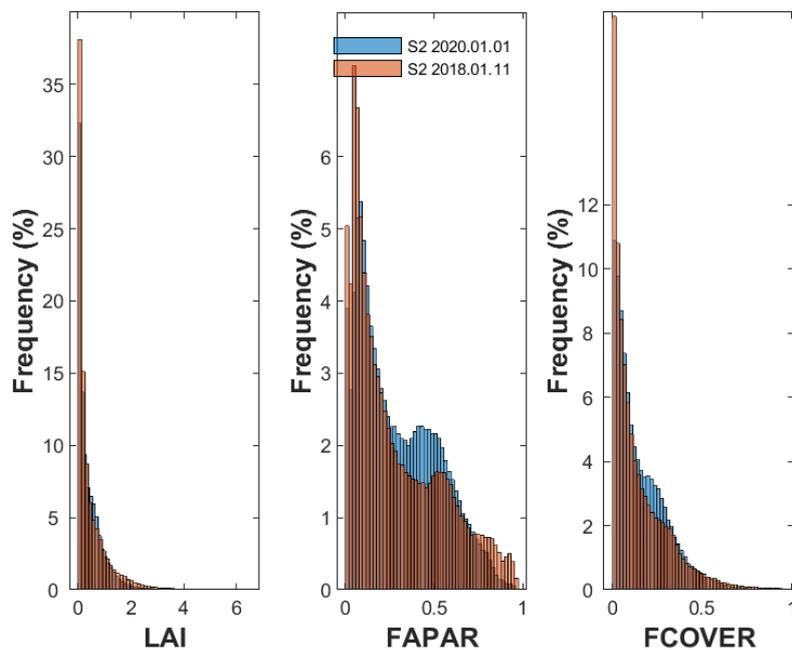
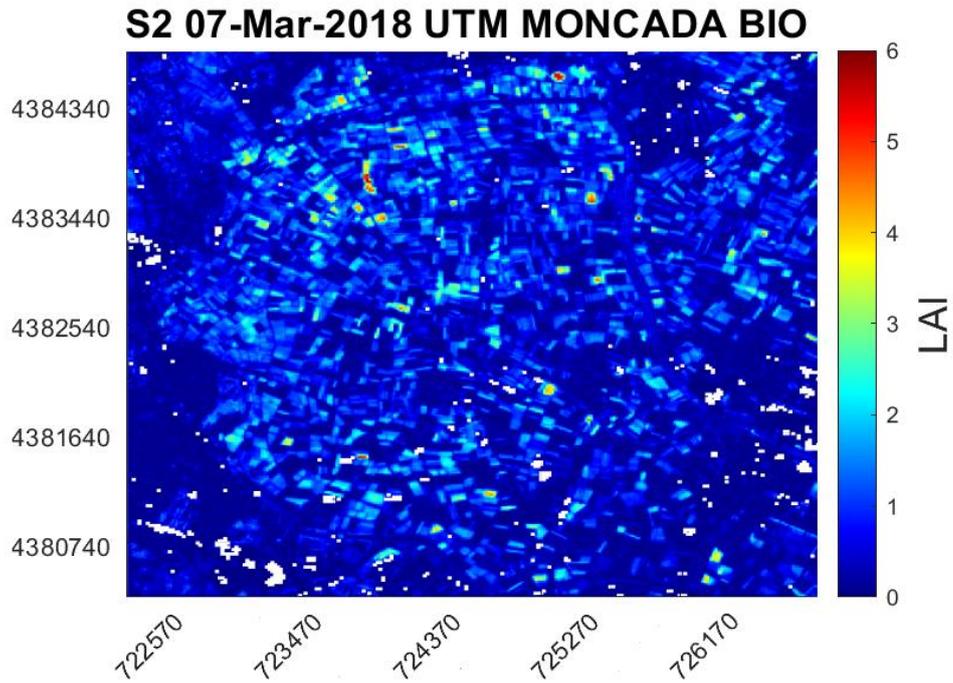


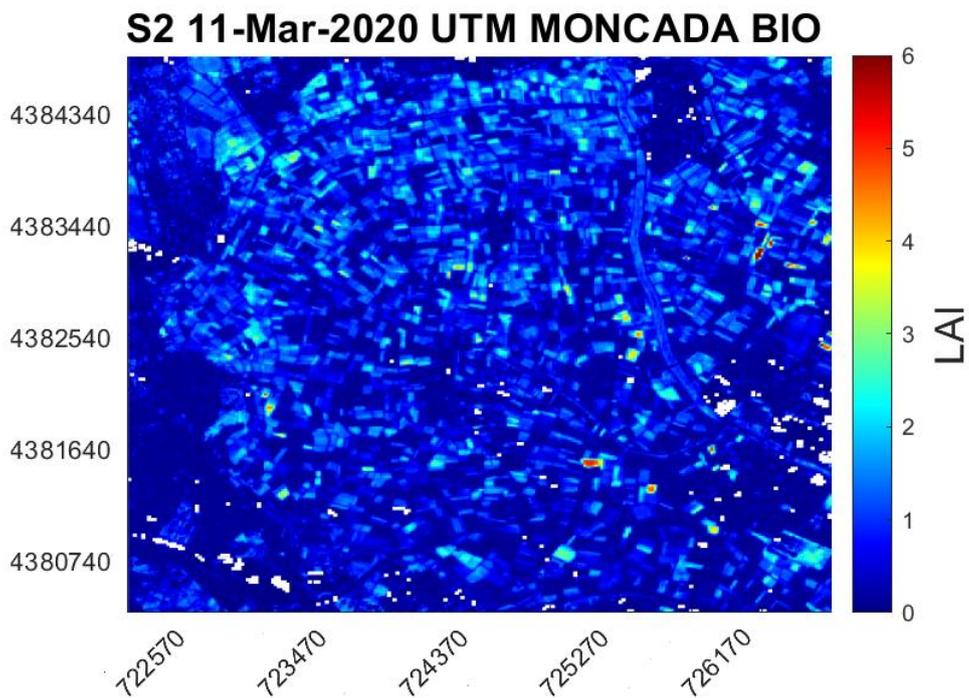
Figura 3. 39 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 1 de enero de 2020 y 11 de enero de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

Se observa en los histogramas de la anterior figura de los tres parámetros que las frecuencias en % de los valores obtenidos para la fecha 1 de enero de 2020 son prácticamente las mismas comparadas con las de la fecha 11 de enero de 2018, exceptuando para los parámetros FAPAR y FCOVER donde se observan algunos picos de frecuencias de valores mayores en los valores intermedios para las fechas del 2020 comparadas con las de 2018.



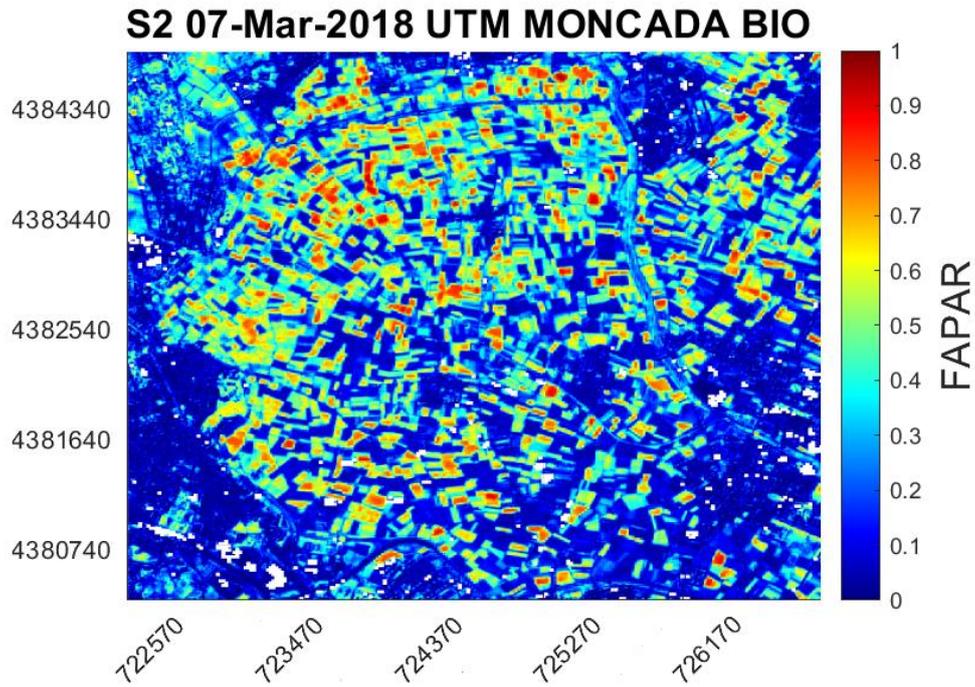
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 40 - Mapa de LAI fecha 7 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



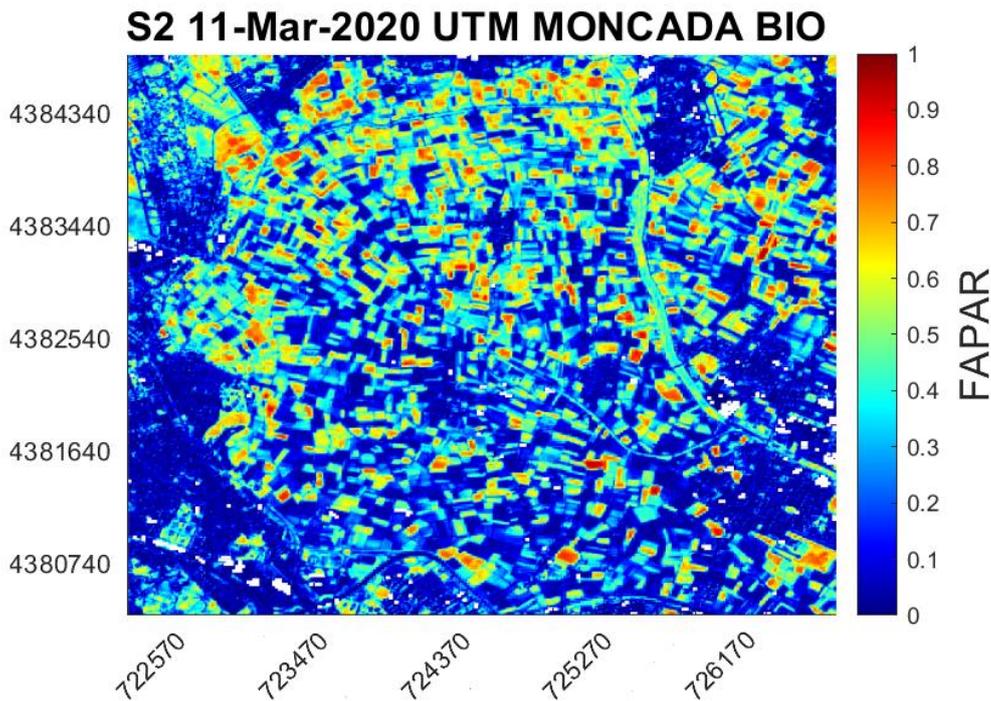
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 41 - Mapa de LAI fecha 11 de marzo de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

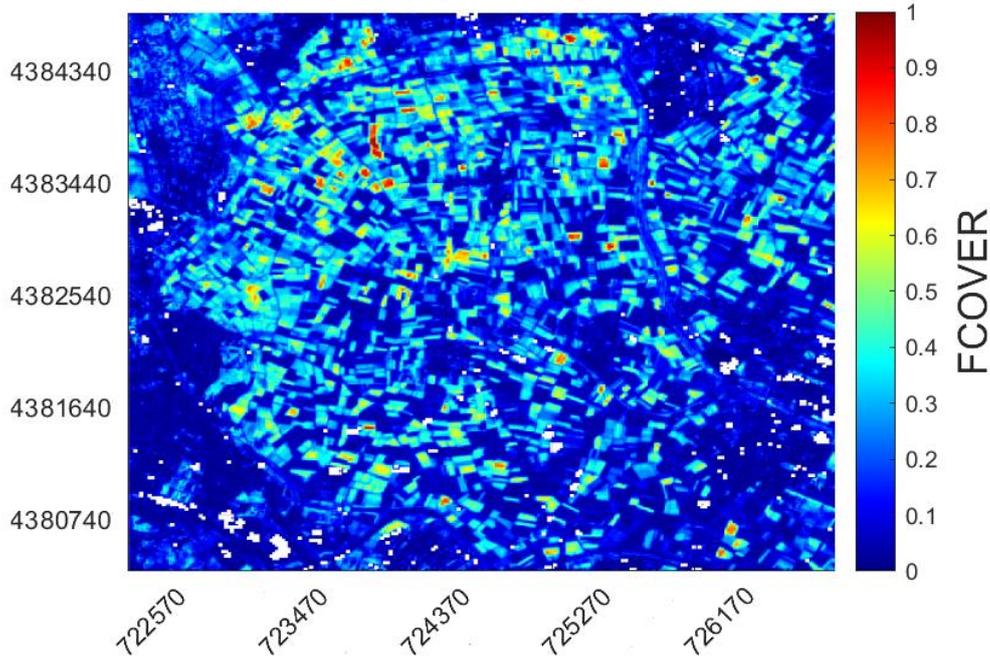
Figura 3. 42 - Mapa de FAPAR fecha 7 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 43 - Mapa de FAPAR fecha 11 de marzo de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

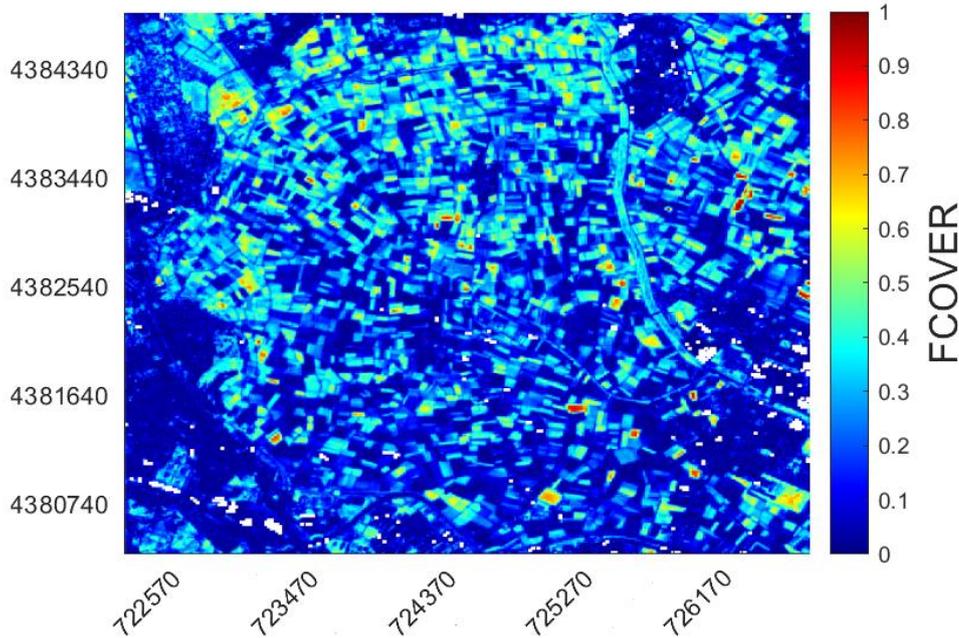
S2 07-Mar-2018 UTM MONCADA BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 44 - Mapa de FCOVER fecha 7 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

S2 11-Mar-2020 UTM MONCADA BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 45 - Mapa de FCOVER fecha 11 de marzo de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

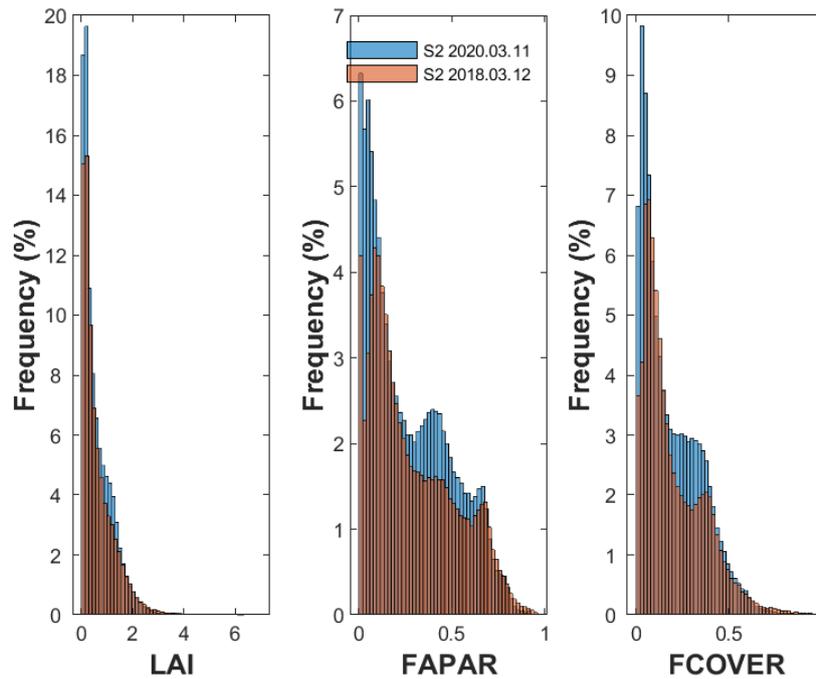


Figura 3. 46 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 11 de marzo de 2020 y 121 de marzo de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

En la anterior figura se observan que para las fechas de marzo para los tres parámetros ocurre lo parecido a las fechas de enero que las frecuencias en % de los valores obtenidos para 2020 son prácticamente similares a las del 2018, exceptuando que en los valores cercanos a 0 se observan algunos picos mayores de frecuencias de valores en 2020 comparados a 2018 y por otro lado en para los parámetros FAPAR y FCOVER se observan picos mayores de frecuencias de valores en los valores intermedios también.

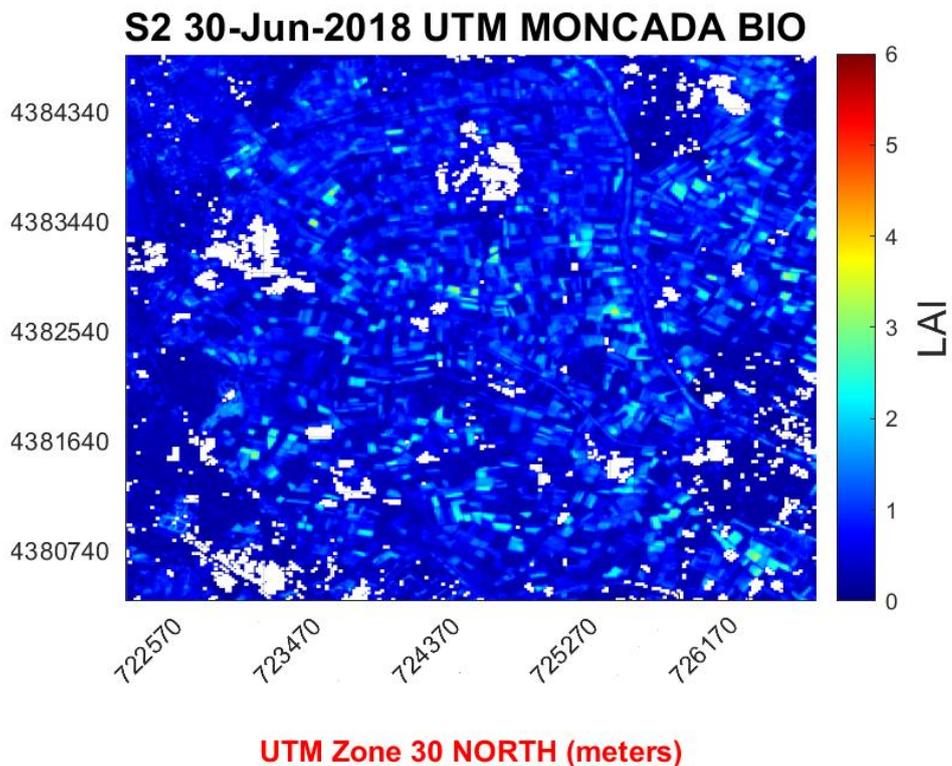
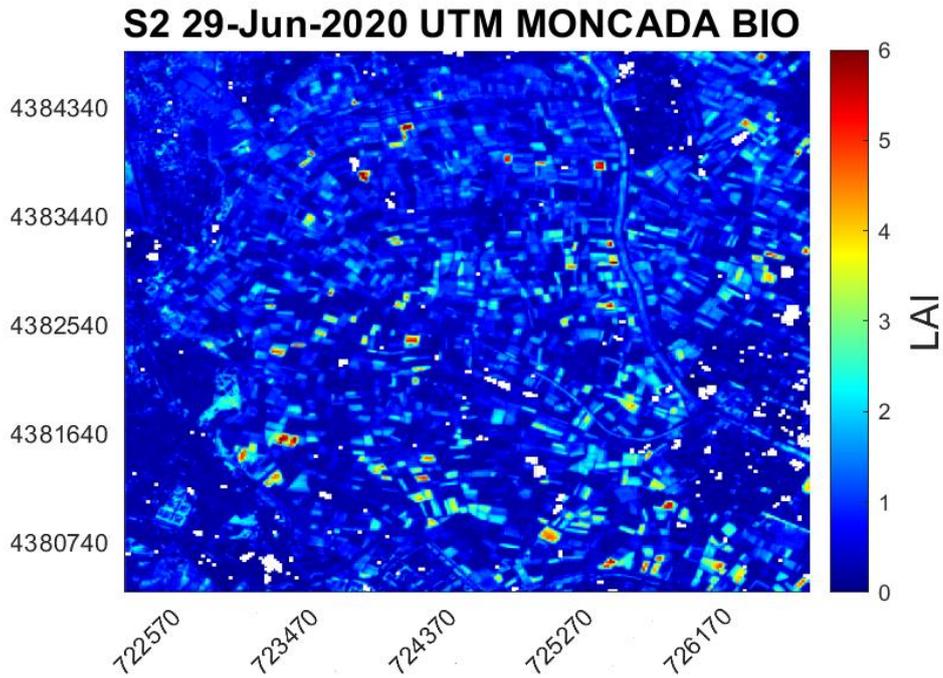
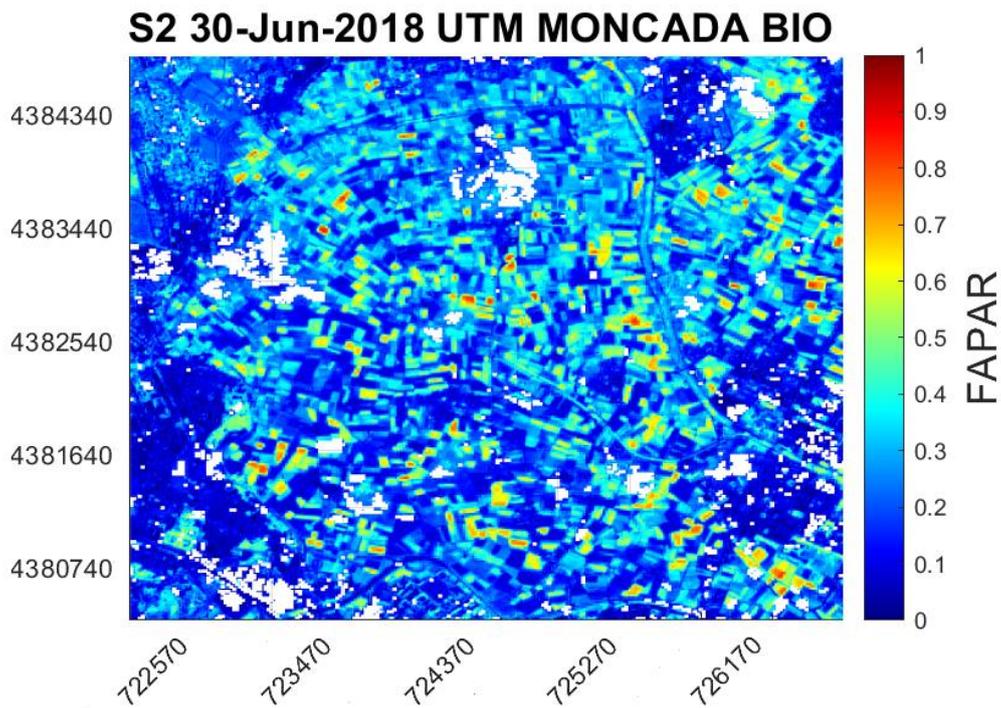


Figura 3. 47 - Mapa de LAI fecha 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

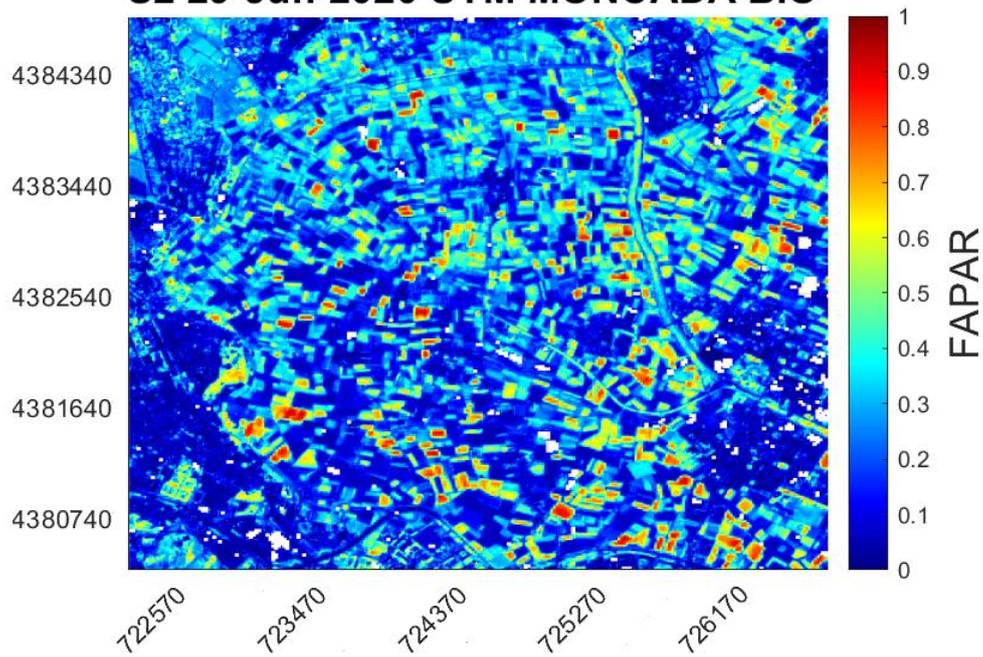
Figura 3. 48 - Mapa de LAI fecha 29 de junio de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 49 - Mapa de FAPAR fecha 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

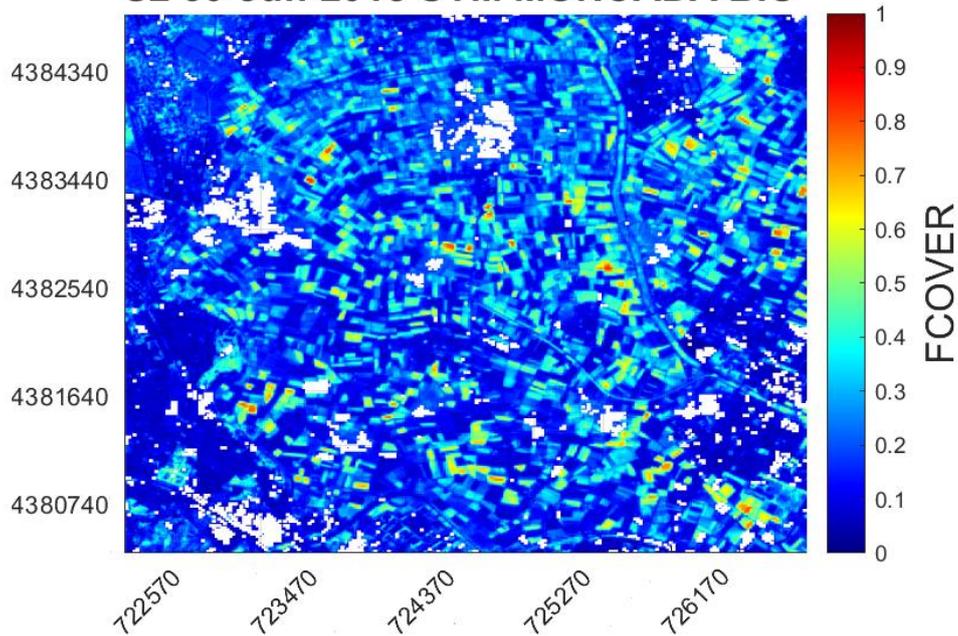
S2 29-Jun-2020 UTM MONCADA BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 50 - Mapa de FAPAR fecha 29 de junio de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

S2 30-Jun-2018 UTM MONCADA BIO



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 51 - Mapa de FCOVER fecha 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

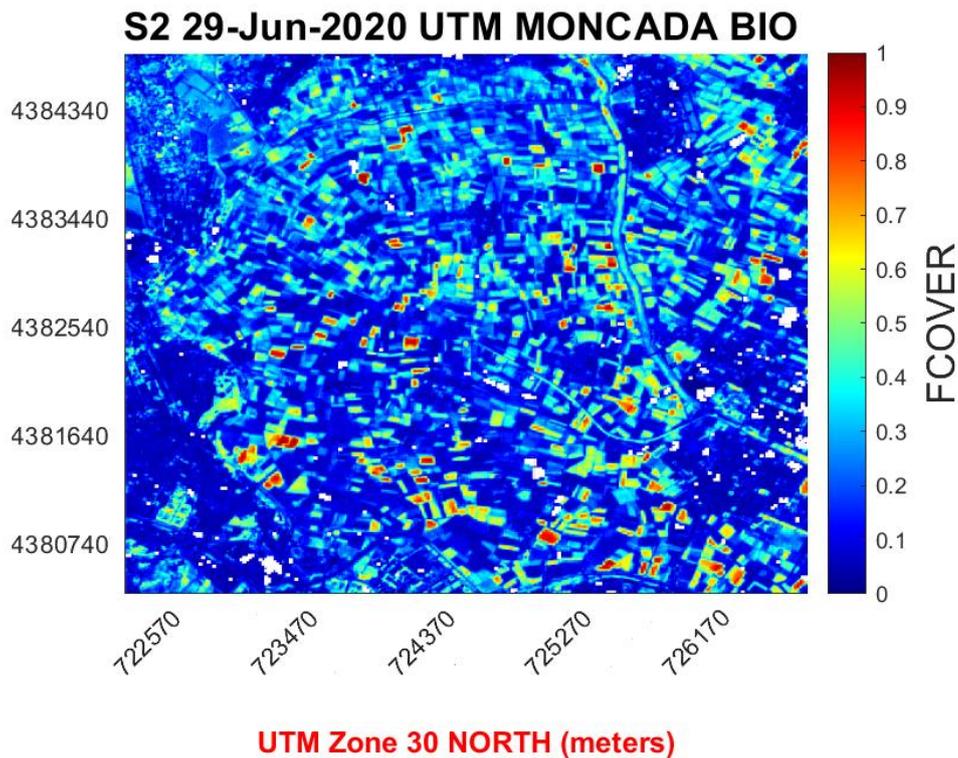


Figura 3. 52 - Mapa de FCOVER fecha 29 de junio de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

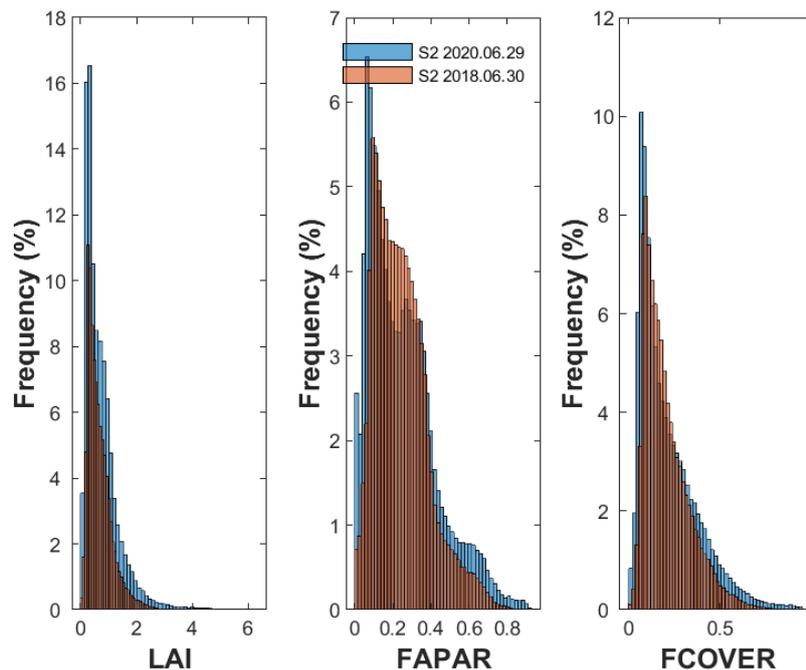
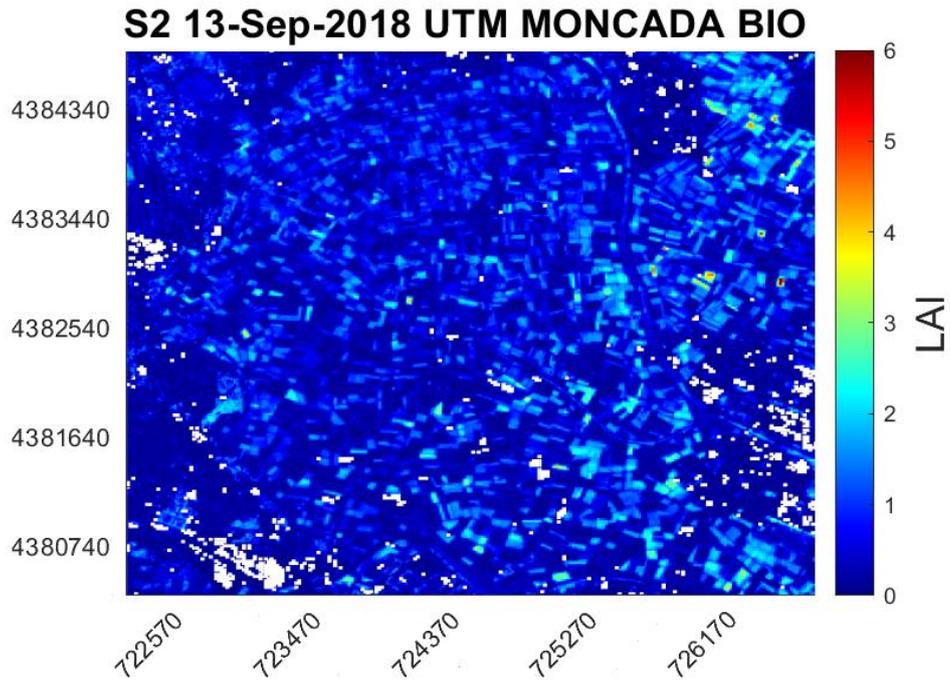


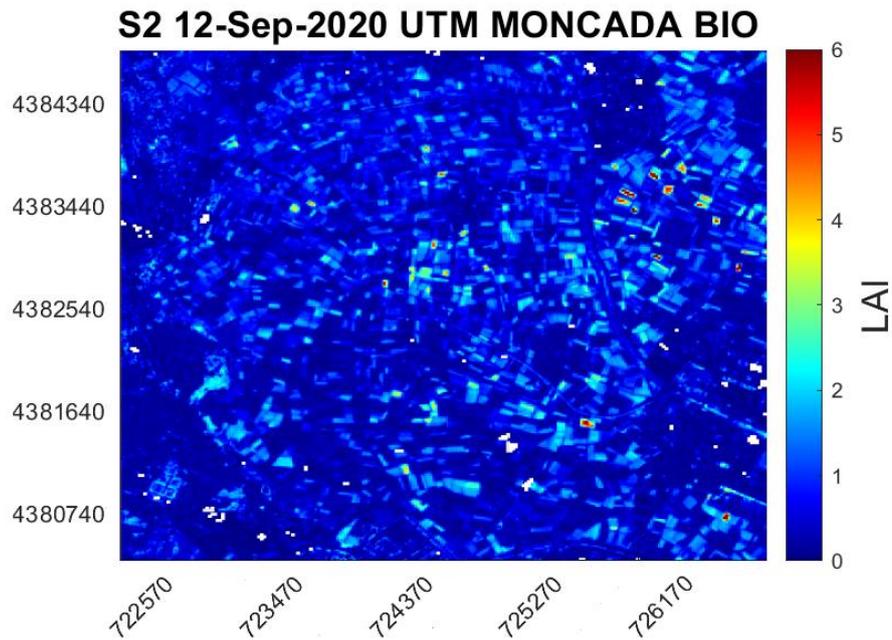
Figura 3. 53 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 29 de junio de 2020 y 30 de junio de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

Para las fechas de junio se puede observar también en la anterior figura que prácticamente las frecuencias en % de valores obtenidos para la fecha de 2020 son similares a la fecha de 2018 para los tres parámetros biofísicos, exceptuando algunos picos de frecuencias de valores mayores en los valores cercanos a 0 para la fecha de 2020 comparadas con las de la fecha de 2018 de los tres parámetros. Mientras que para el parámetro FAPAR se observan algunos picos de frecuencias de valores para los valores entre 0,2 y 0,4 menores para la fecha de 2020 comparadas con las de la fecha de 2018.



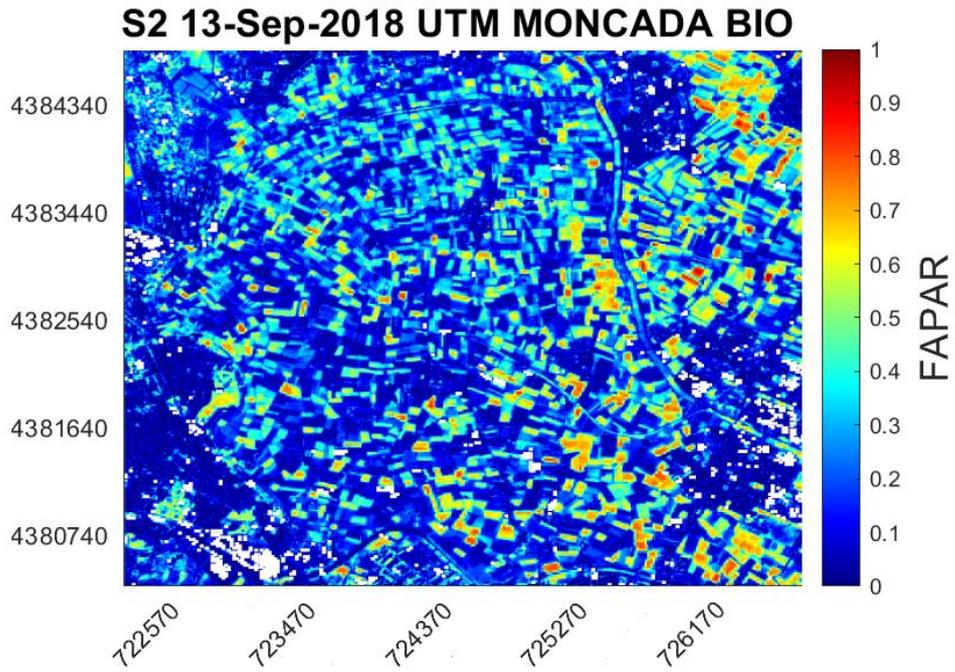
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 54 - Mapa de LAI fecha 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



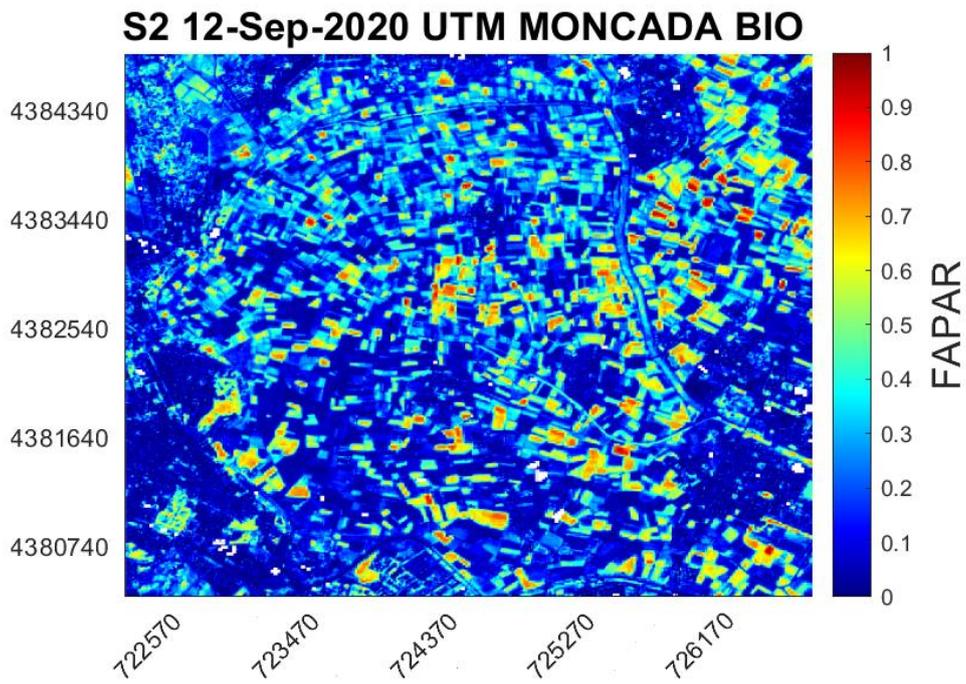
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 55 - Mapa de LAI fecha 12 de septiembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



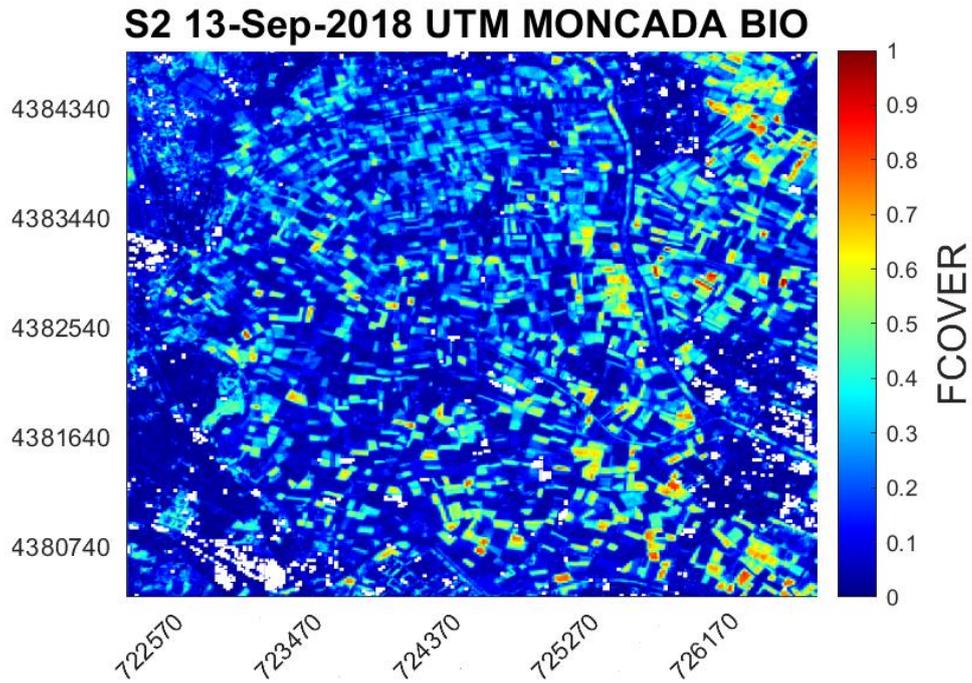
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 56 - Mapa de FAPAR fecha 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



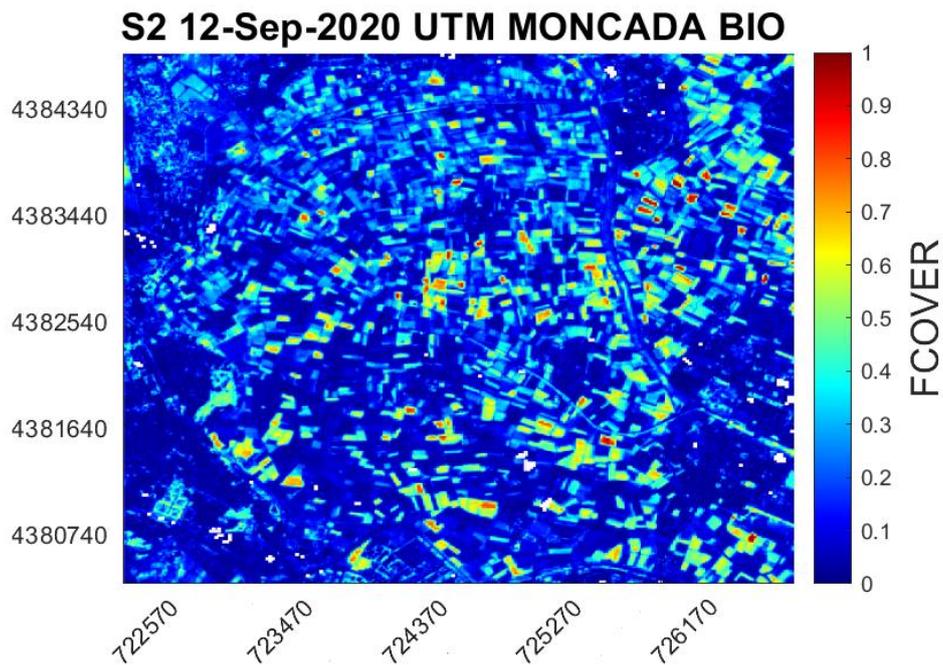
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 57 - Mapa de FAPAR fecha 12 de septiembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 58 - Mapa de FCOVER fecha 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 59 - Mapa de FCOVER fecha 12 de septiembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

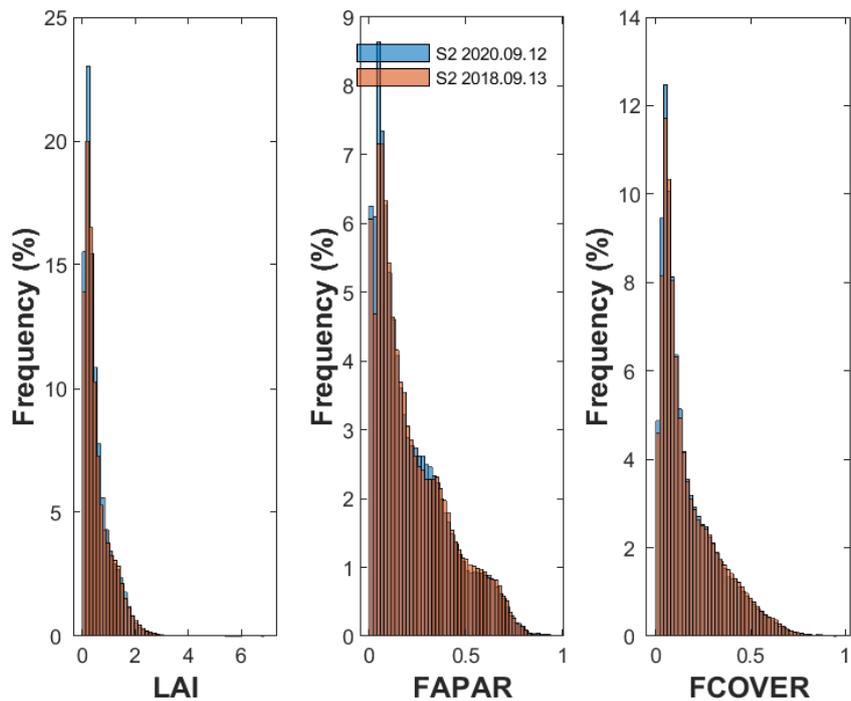
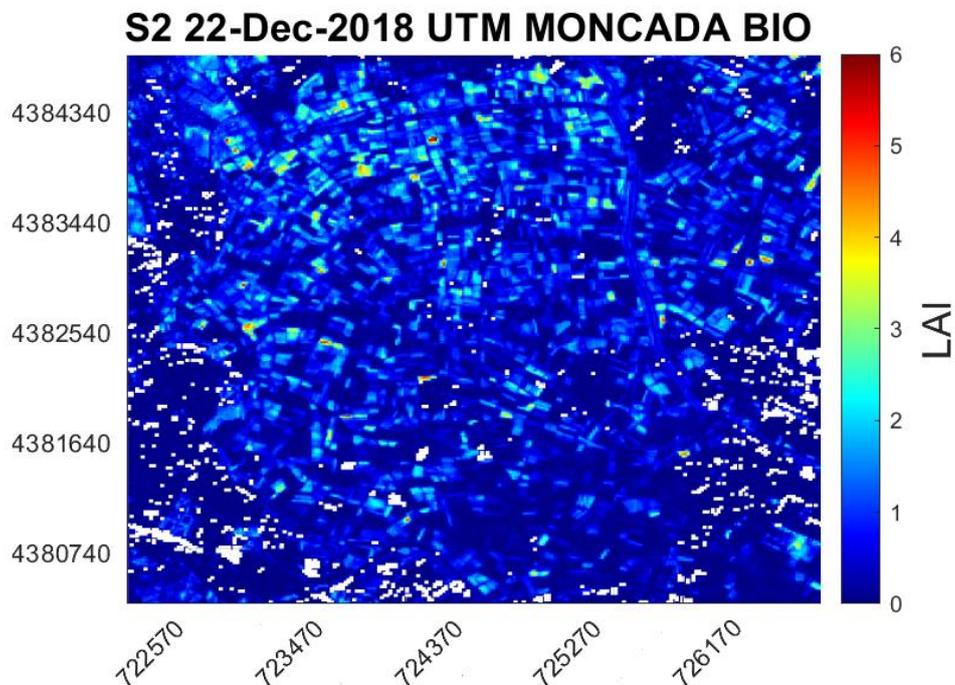


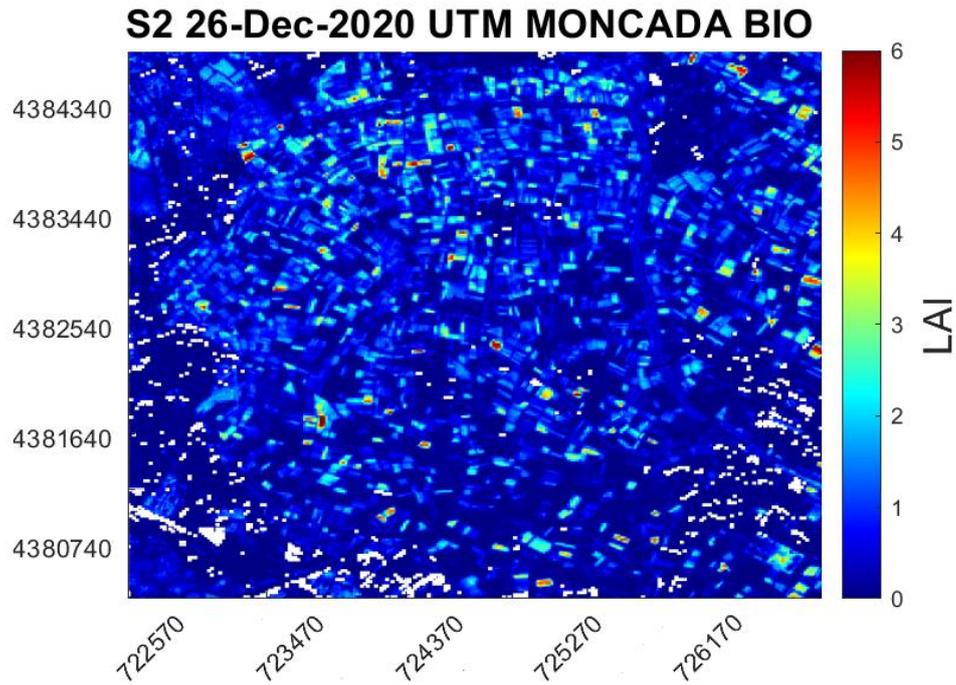
Figura 3. 60 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 12 de septiembre de 2020 y 13 de septiembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

En la anterior figura se observa que para los tres parámetros las frecuencias de valores en % obtenidos para la fecha de 12 de septiembre de 2020 son iguales a las frecuencias de valores obtenidos para la fecha de 13 de septiembre de 2018.



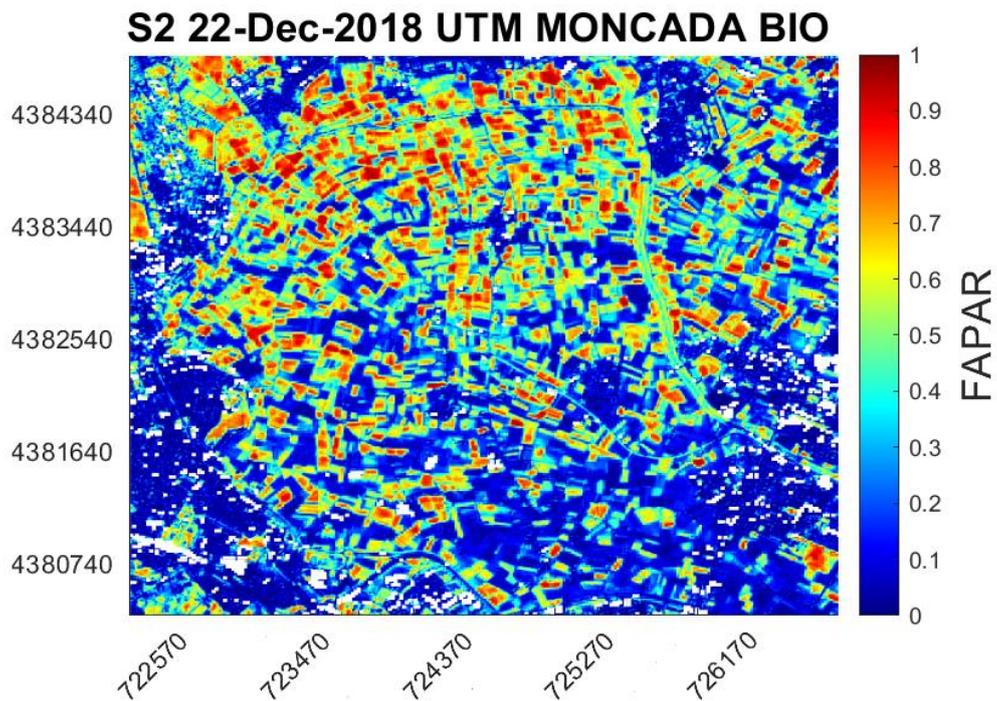
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 61 - Mapa de LAI fecha 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



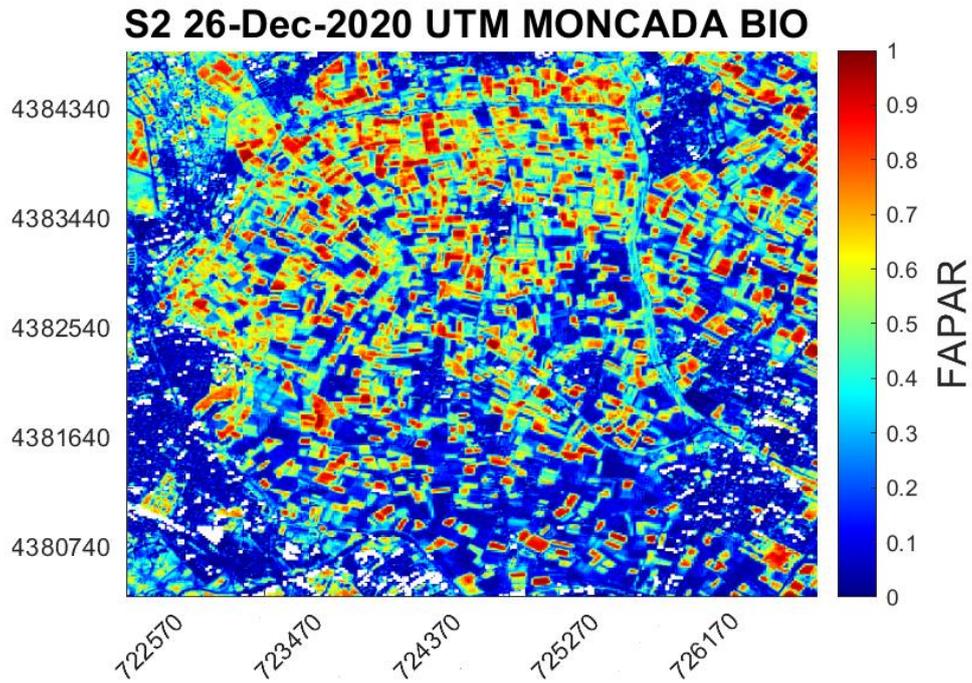
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 62 - Mapa de LAI fecha 26 de diciembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



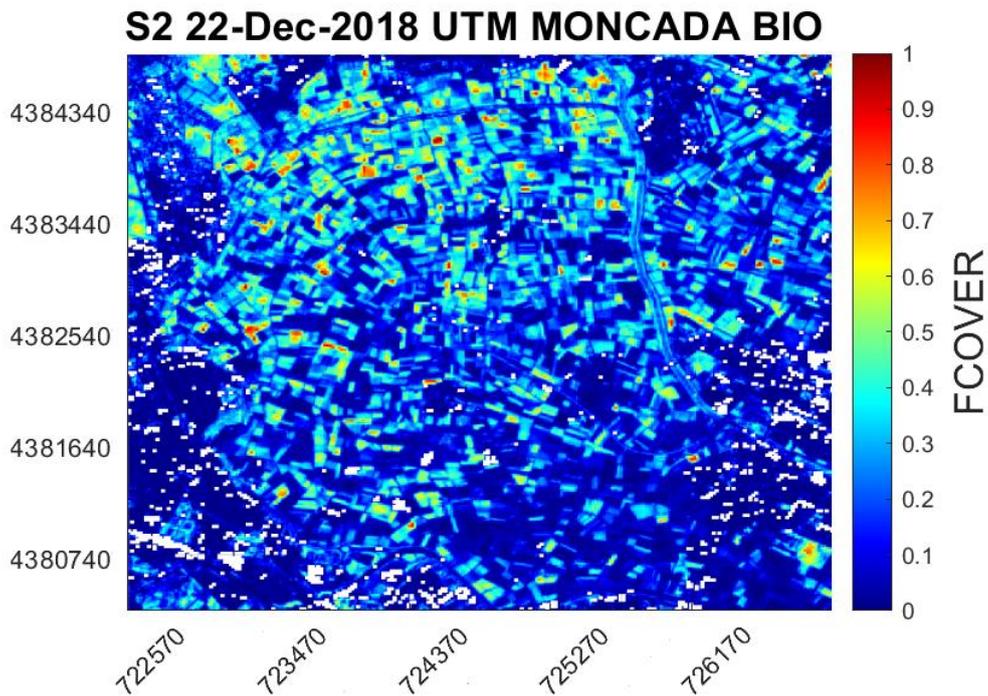
UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 63 - Mapa de FAPAR fecha 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 64 - Mapa de FAPAR fecha 26 de diciembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2



UTM Zone 30 NORTH (meters)

Figura 3. 65 - Mapa de FCOVER fecha 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

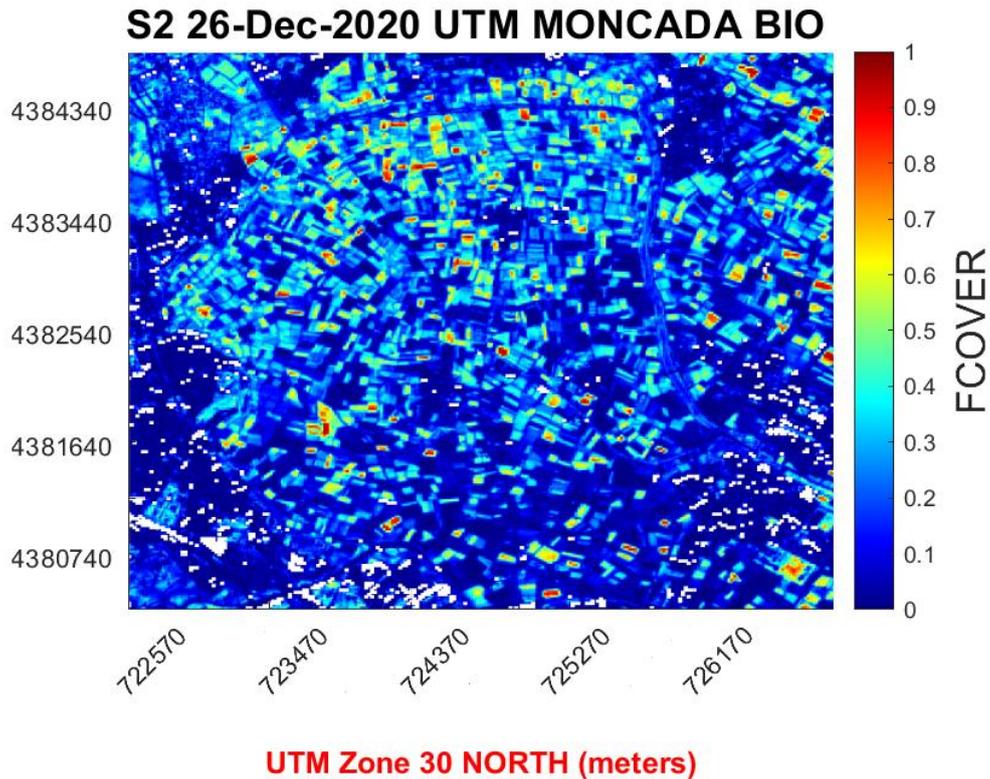


Figura 3. 66 - Mapa de FCOVER fecha 26 de diciembre de 2020 para la zona de Moncada satélite S2

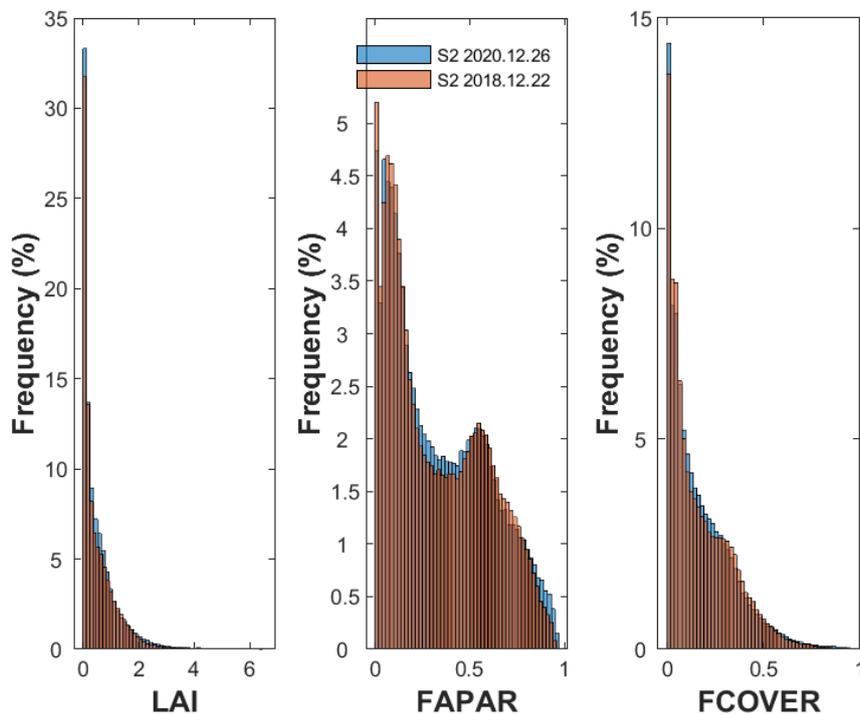


Figura 3. 67 - Histograma comparativo de los parámetros biofísicos entre fecha 26 de diciembre de 2020 y 22 de diciembre de 2018 para la zona de Moncada satélite S2

En la anterior figura se observa que para los tres parámetros las frecuencias de valores en % obtenidos para la fecha de 26 de diciembre de 2020 son iguales a las frecuencias de valores obtenidos para la fecha de 22 de diciembre de 2018.

En general se puede concluir que la distribución de los valores que siguen las fechas de 2020 para los tres parámetros biofísicos es prácticamente parecida a las fechas de 2018 de esta zona.

3.2.2 Perfiles temporales para el estudio de consistencia temporal

Una vez generados los mapas e histogramas el siguiente paso es de generar los perfiles temporales, los perfiles del número de píxeles y los perfiles de percentiles.

En este apartado se van a mostrar la ejecución del programa y los resultados generados para el estudio de consistencia temporal de los parámetros biofísicos (LAI, FAPAR y FCOVER) con el objetivo de validar los resultados generados en tiempo casi real comparando los con los resultados obtenidos para las fechas de referencia.

En la siguiente figura se muestra la ejecución del código TP_Moncada.m para la zona de Moncada en la que se introducen los inputs de dicho código para generar perfiles en el periodo de referencia (2018-2019):

```
Command Window
>> TP_Moncada
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
fx Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231
```

Figura 3. 68 - Ejemplo de ejecución fichero TP_Moncada.m para el periodo de referencia zona Moncada

Para generar los perfiles en tiempo casi real se utiliza el mismo código Quality_Control.m, ejecutando para las fechas posteriores tal y como se observa en la Figura 3.31.

A continuación, se presentan algunos ejemplos (Para CP5, CP15 y CP20 de la Tabla 1.4) de los perfiles temporales generados para cada parámetro(LAI, FAPAR y FCOVER hasta la fecha 31 de julio de 2021.

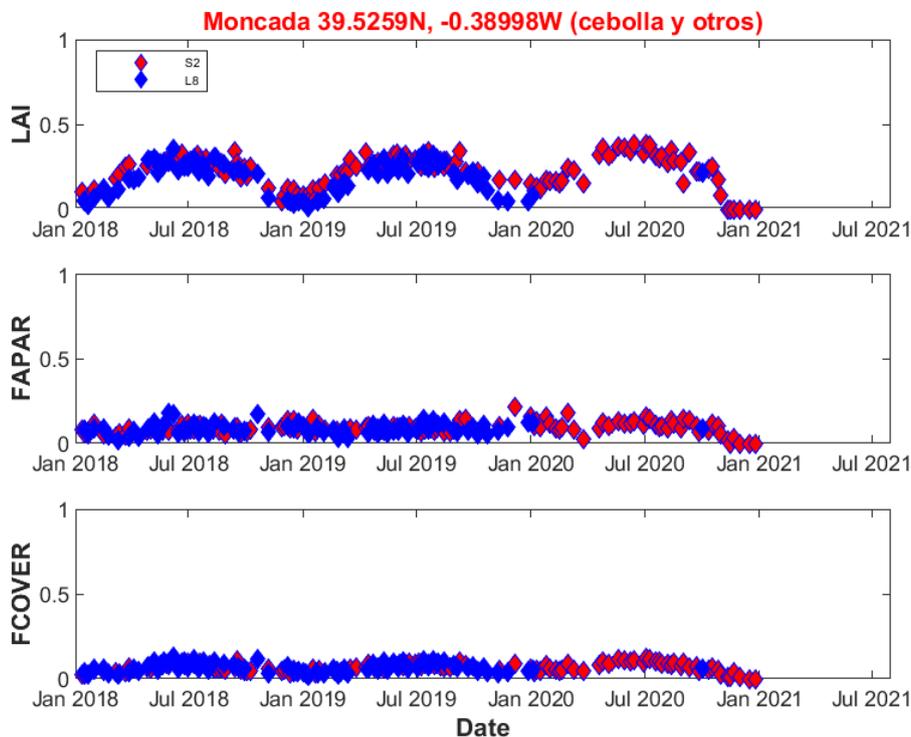


Figura 3. 69 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP5 representado hasta 31 de julio de 2021

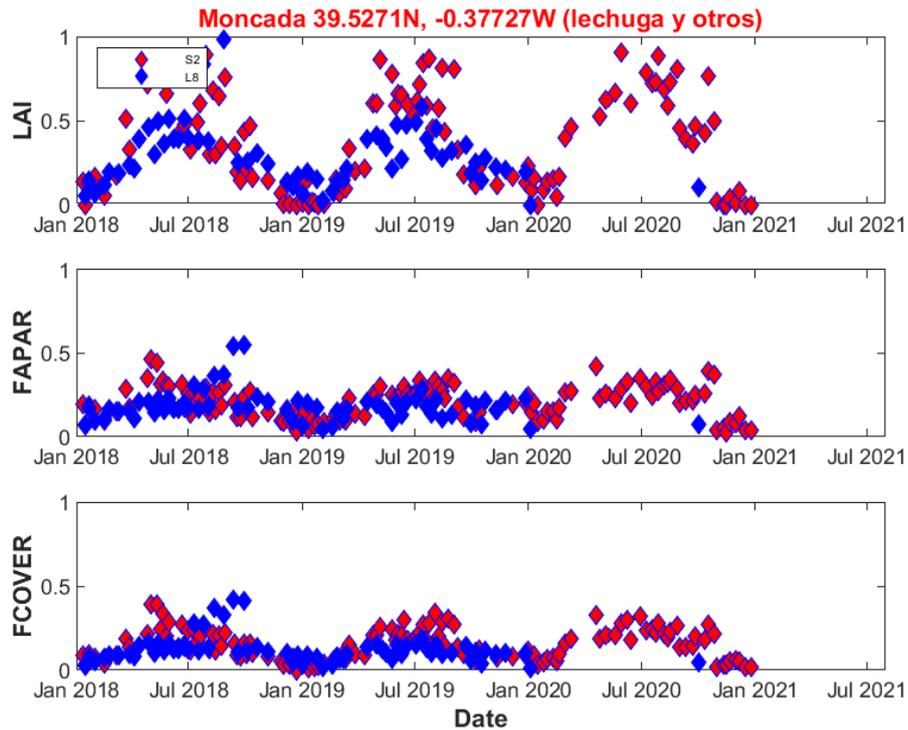


Figura 3. 70 - Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP15 representado hasta 31 de julio de 2021

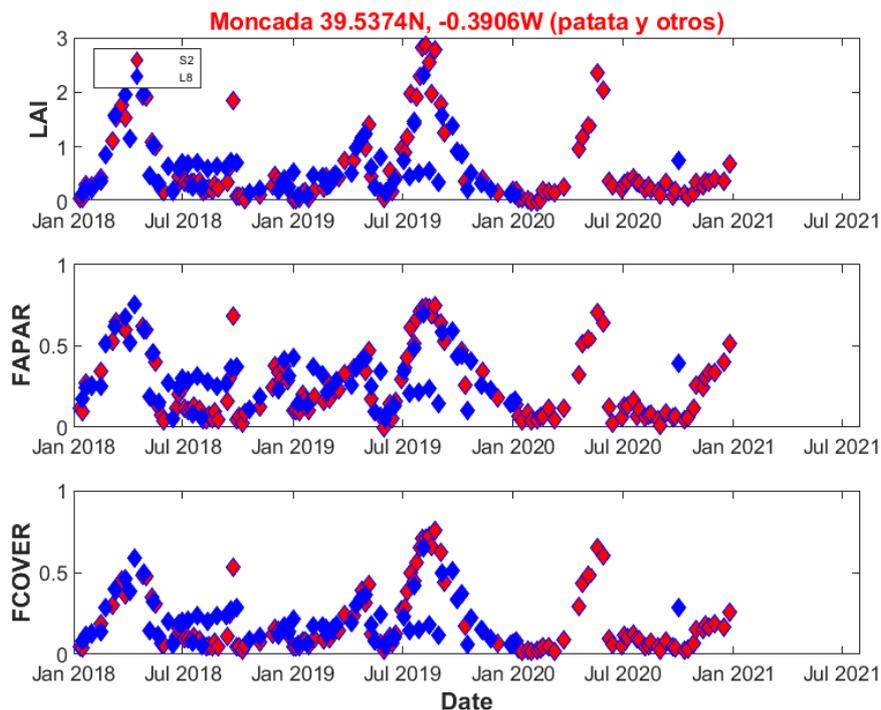


Figura 3. 71 – Perfil temporal de los parámetros biofísicos para el CP20 representado hasta 31 de julio de 2021

Se observa en las anteriores figuras de los perfiles temporales para el CP5, CP15 y CP20 para todos los parámetros la distribución de los valores de cada parámetro sigue una forma mayoritariamente similar a los valores obtenidos para el periodo de referencia (2018-2019).

Cabe destacar que desde 1 de enero de 2021 hasta 31 de enero de 2021 no se capturan imágenes en el servidor de EOLAB para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER como se puede observar en las anteriores figuras que no se obtienen ningún valor para esas fechas.

Seguidamente se muestran los perfiles del número de píxeles generados para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER hasta 31 de julio de 2021 en casi tiempo real (near real time):

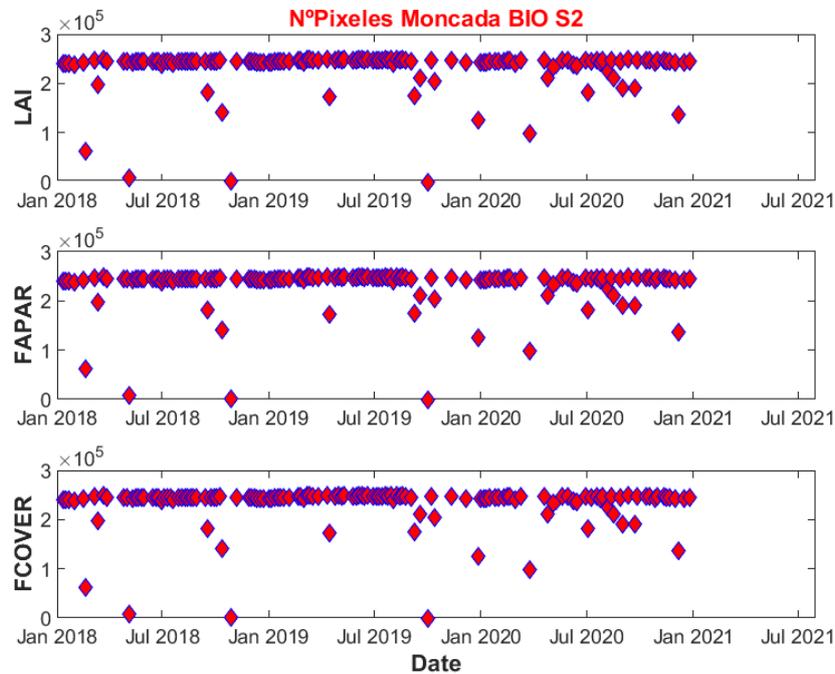


Figura 3. 72 – Perfil del número de píxeles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite S2

Para los tres parámetros biofísicos se observan que se obtienen mayoritariamente un número de píxeles válidos cerca del número total de píxeles para cada fecha, exceptuando para algunas fechas donde el número decae que pueden ser causados por las nubes u otros factores meteorológicos durante la captura de las imágenes por los satélites L8 y S2.

A continuación, se muestran los perfiles de percentiles generados para los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER hasta 31 de julio de 2021 en casi tiempo real (near real time):

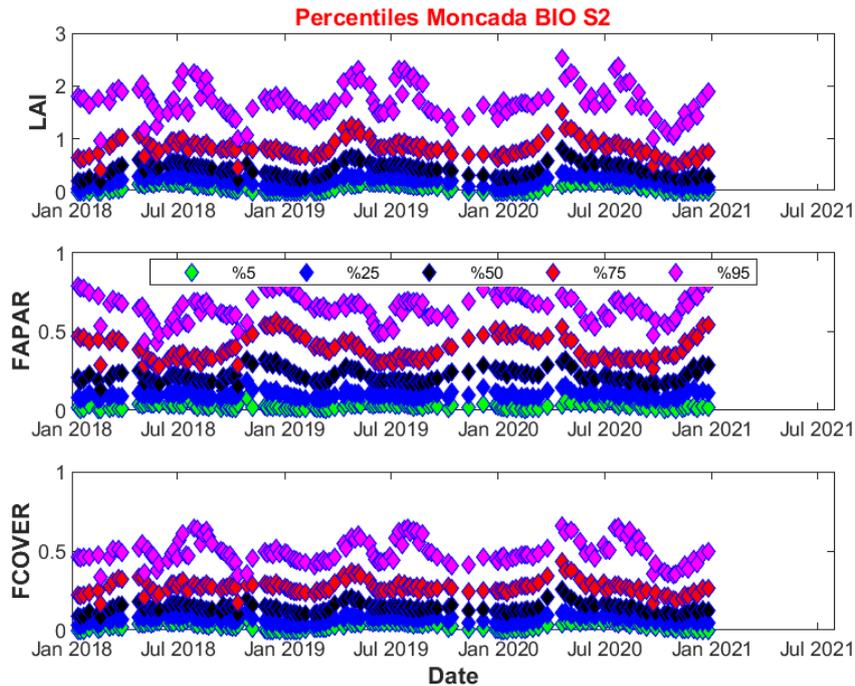


Figura 3. 73 - Perfil de percentiles de los parámetros biofísicos representado hasta 31 de julio de 2021 satélite

Se observan en las anteriores figuras que para los tres parámetros biofísicos la distribución de los percentiles presentes de los años 2020 y 2021 mayoritariamente sigue una forma similar a los valores obtenidos para para los años 2018-2019.

3.2.3 Estadísticas

Finalmente se presentan en la siguiente figura las estadísticas de los mapas generados hasta la fecha de 31 de julio de 2021 para la zona de Moncada:

BIO-S2:

0 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0 GB).

Total archivo: 417 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (0.87487 GB).

ET-S2:

0 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0 GB).

Total archivo: 138 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (0.28952 GB).

LST-S2:

0 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0 GB).

Total archivo: 138 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (0.28952 GB).

NDVI-S2:

0 imágenes nuevas procesadas desde 01-Jul-2021 hasta 31-Jul-2021 (0 GB).

Total archivo: 139 imágenes desde 01-Jan-2018 hasta 31-Jul-2021 (0.29162 GB).

Figura 3. 74 - Estadísticas de los mapas generados hasta 31 de julio de 2021 para el satélite S2 zona Moncada

En la anterior figura se observan el número de mapas generados en la última ejecución del código Quality_Control.m, y en total. El total de imágenes o productos procesados para los parámetros biofísicos para las fechas indicadas a través de los códigos Images.m (fechas del periodo de referencia) más para las fechas indicadas con el código Quality_Control.m para la zona de Moncada, es decir desde 1 de enero de 2018 hasta 31 de julio de 2021 son 417 imágenes procesadas. También se observan junto con el número de mapas generados el tamaño acumulado



de estos mapas en Giga Bytes, entonces se ven que para los parámetros se han procesado 0,87 GB aproximadamente de datos para esta zona.

3.3 Conclusiones de los resultados obtenidos

Tras presentar y analizar los resultados obtenidos de mapas, histogramas y perfiles a partir de los parámetros LAI, FAPAR y FCOVER se puede comentar que para las dos zonas de estudio Barrax y Moncada se han obtenidos valores para las fechas de 2020 y 2021 bastantes similares a los valores validados para las fechas de referencia 2018-2019. Por lo tanto, se puede concluir que el programa implementado en la plataforma MATLAB cumple con el objetivo de realizar el control de calidad de los productos estimados generados en tiempo real.

Capítulo 4. Conclusiones y propuesta de futuros trabajos

El principal objetivo de este proyecto desde el principio ha sido de evaluar la consistencia espacial y temporal de los nuevos productos generados en tiempo casi real de forma semiautomática implementando un programa a través del MATLAB.

El programa implementado se ha dividido en dos bloques, donde en el primer bloque se han implementado el código Images.m que se encarga de generar mapas e histogramas para el estudio de la consistencia espacial y los códigos TP_Barrax.m y TP_Moncada.m que generaran perfiles para el estudio de la consistencia temporal para el periodo de referencia o periodo validado (2018-2019). Y por otra parte en el bloque 2 se ha programado el código Quality_Control.m que se centra generar mapas, histogramas y perfiles, pero en este caso en casi tiempo real (near real time) para su posterior estudio espaciotemporal.

A lo largo de la memoria se han descrito los conceptos teóricos, la metodología y las funciones que se han utilizado para implementar dicho programa. También se han descrito como se han programado los códigos Images.m, TP_Barrax.m y TP_Moncada.m para el bloque 1 y el código Quality_Control.m para el bloque 2 al mismo tiempo se ha descrito el objetivo que tenían y los resultados que generaban dichos códigos.

Y al final de esta memoria de este proyecto, se ha mostrado un ejemplo de aplicación del programa implementado centrandolo en los resultados generados para el satélite S2 de los parámetros biofísicos LAI, FAPAR y FCOVER, donde se han presentado los resultados obtenidos para cada zona (Barrax y Moncada), tanto para el periodo de referencia, como para el tiempo casi real (near real time) hasta 31 de julio de 2021. Al final se ha concluido tras realizar un control de calidad de los resultados obtenidos en tiempo casi real que el programa implementado en MATLAB es óptimo para dicho propósito, ya que los resultados eran parecidos al del periodo validado.

Para concluir se puede decir, que el uso del programa como medio de aplicación para realizar estudios de la consistencia espacial y temporal generando mapas, histogramas y perfiles, resulta óptimo, ya que ayuda a procesar y realizar el control de calidad de los nuevos productos generados en casi tiempo real (near real time).

Como propuesta de trabajo en futuro, cabe señalar que el programa implementado presenta algunas limitaciones, ya que el programa se ha implementado en distintos códigos por lo tanto se podría proponer la centralización del programa en un único código. Y por otra parte se podría proponer también la implementación de dicho programa para otras zonas de estudio. En las que los códigos tras algunas modificaciones podrían ser extrapolables a los CPs de otras zonas de estudio.

Capítulo 5. Bibliografía

1. ISPRS. ORGANIZACION DE LA ISPRS. [En línea] [Citado el: 11 de Agosto de 2021.] https://www.isprs.org/publications/brochure/ISPRS_brochure_espanol.pdf.
2. The Global Observing System for Climate: Implementation Needs. WMO, Geneva, Switzerland. GCOS#200. [En línea] [Citado el: 27 de Julio de 2021.] <https://gcos.wmo.int/en/gcos-implementation-plan>.
3. Díaz, Beatriz Martínez. Caracterización espacial de parámetros biofísicos de la cubierta vegetal para la validación de productos derivados mediante teledetección. Valencia : Universidad de Valencia. Facultad de física., 2006.
4. Efficient Prediction of Ground Surface Temperature and Moisture, with Inclusion of a Layer of Vegetation. Deardorff, J.W. 1889-1903, s.l. : Journal of Geophysical Research, 1978, Vol. 83.
5. Evaluation of MODIS LAI, FAPAR and the relation between FAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. FENSHOLT, R., SANDHOLT, I. AND RASMUSSEN, S. 490-507, s.l. : Remote Sensing of Environment, Vol. 91.
6. Rouse, Dr. John. Rouse et al., 1974 - The normalized difference vegetation index (NDVI). 1974.
7. Li, J., B.E. Carlson, and A.A. Lacis,. Li et al. 2013 - Application of spectral analysis techniques in the inter-comparison of aerosol data, Part I: An EOF approach to analyze the spatial-temporal variability of aerosol optical depth using multiple remote sensing data sets. s.l. : J. Geophys. Res. Atmos.,, 2013. 15, 8640-8648.
8. Du et al., 2015. A Practical Split-Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Landsat 8 Data. Chen Du, Huazhong Ren, Qiming Qin, Jinjie Meng and Shaohua Zhao. 647-665, s.l. : Remote Sens, 2015, Vol. 7(1).
9. Parameterization of Land Surface Evapotranspiration Using a Location Dependent Potential Evapotranspiration and Surface Temperature Range. Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Space and Time Scales. Menenti, M. and Choudhury, B. 561-568, s.l. : IAHS, 2013, Vol. 212.
10. Allen et al. (1998) - Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. Rome : Food and Agriculture Organization, 1998.
11. Obtención de mapas verdad-terreno de LAI, FAPAR y cobertura vegetal a partir de imágenes del satélite chileno FASat-C y medidas in-situ en la zona agrícola de Chimbarongo, Chile, para la validación de productos de satélite. Latorre C. , Camacho F., Mattar C., Santamaría-Artigas A., Leiva-Büchi N., Lacaze R. s.l. : Asociación Española de Teledetección, 2016. 1133-095.
12. Sentinel-2. Agencia Espacial Europea (ESA). [En línea] [Citado el: 04 de Julio de 2021.] <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/overview>.
13. AristaSur. Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM. [En línea] [Citado el: 18 de Julio de 2021.] <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>.
14. Ortega, Elena Prado. Diseño de herramientas informáticas para la utilización de modelos de reflectividad de la vegetación en el entorno docente. ALCALÁ : UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA.
15. Agencia Espacial Europea (ESA). Barrax. [En línea] [Citado el: 06 de Junio de 2021.] http://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Mediciones_conjuntas_desde_Espana_y_el_espacio_de_cara_a_una_mision_hiperespectral_de_la_ESA.
16. Ayuntamiento de Moncada. [En línea] [Citado el: 16 de Junio de 2021.] <https://www.moncada.es/es>.



17. Beatriz Fuster, Jorge Sánchez-Zapero, Fernando Camacho, Vicente García-Santos, Alexandre Verger, Roselyne Lacaze, Marie Weiss, Frederic Baret and Bruno Smets. MDPI. [En línea] [Citado el: 29 de Junio de 2021.] <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/6/1017/htm>.
18. Presentación de datos. Gutiérrez Álvarez, Ángela María, Babativa, Yeni Lorena y Lozano, Ivonne. 1, Universidad del Rosario Bogotá, Colombia : Revista Ciencias de la Salud, Enero-Junio, Vol. 2. pp. 65-73.
19. GeoTIFF - OGC GeoTIFF Standard. EARTH DATA. [En línea] NASA GOV. [Citado el: 6 de Septiembre de 2021.] <https://earthdata.nasa.gov/esdis/eso/standards-and-references/geotiff>.
20. Gràffica. [En línea] [Citado el: 14 de Julio de 2021.] <https://graffica.info/tiff-jpeg-gif-png-formatos-archivos/>.

Capítulo 6. ANEXO I: MANUAL DE USUARIO

6.1 Introducción

En este manual describiremos la utilización del programa creado para un nuevo usuario. También aprovecharemos para detallar las funciones de Matlab que engloba todo el programa, y explicaremos brevemente el funcionamiento de cada función.

6.2 Ficheros y funciones del programa

El programa está formado por siguientes funciones y ficheros que el usuario deberá de tenerlos en la ruta de trabajo de Matlab:

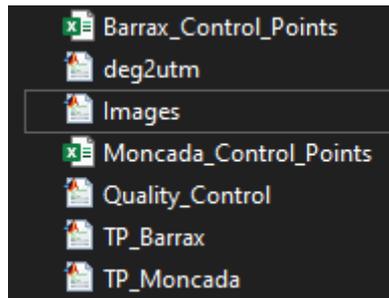


Figura 6. 1 - Funciones y ficheros del programa

- Barrax_Control_Points.xlsx: En este Excel están presentes las coordenadas X (Latitud) e Y (Longitud) de los puntos de controles de la zona de Barrax donde se desean calcular los perfiles temporales (CP Tabla 1.3).
- Moncada_Control_Points.xlsx: En este Excel están presentes las coordenadas X (Latitud) e Y (Longitud) de los puntos de controles de la zona de Moncada donde se desean calcular los perfiles temporales (CP Tabla 1.4).
- Deg2utm.m: Esta función convierte las coordenadas geográficas a coordenadas UTM.

El usuario realizará la configuración inicial del programa utilizando las siguientes funciones:

- Images.m: Este código genera los mapas e histogramas tanto para Barrax como para Moncada en el periodo de referencia (2018-2019) indicadas a la entrada de la función. El usuario lanzará esta función indicando una fecha de entrada inicial el 1 de enero de 2018 y la final el 31 de diciembre de 2019. Y luego indicará el número de la zona para la cual desea lanzar la función (un "1" para Barrax o un "2" para Moncada). Podemos observar un ejemplo de lanzamiento de esta función en la siguiente figura:

```
Command Window
>> Images
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231
fx Enter the zone number (1 for Barrax or 2 for Moncada): 1
```

Figura 6. 2 - Ejemplo de ejecución para Barrax (Images.m)

- TP_Barrax.m: Este código genera los perfiles temporales de Barrax, y además genera los perfiles de los percentiles y de los números de píxeles de esta zona. El usuario lanzará esta función indicando una fecha de entrada inicial el 1 de enero de 2018 y la final el 31 de diciembre de 2019 igual que el código Images.m. Podemos observar un ejemplo de lanzamiento de esta función en la siguiente figura:

```
Command Window
>> TP_Barrax
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
fx Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231|
```

Figura 6. 3 - Ejemplo de ejecución para Barrax (TP_Barrax.m)

- TP_Moncada.m: Este código genera los perfiles temporales de Moncada, y además genera los perfiles de los percentiles y de los números de píxeles de esta zona. El usuario lanzara esta función indicando una fecha de entrada inicial el 1 de enero de 2018 y la final el 31 de diciembre de 2019 igual que los anteriores códigos Images.m e TP_Moncada.m. Podemos observar un ejemplo de lanzamiento de esta función en la siguiente figura:

```
Command Window
>> TP_Moncada
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20180101
fx Enter the final date (YYYYMMDD): 20191231|
```

Figura 6. 4 - Ejemplo de ejecución para Moncada (TP_Moncada.m)

Una vez lanzadas las funciones anteriores nuestro programa quedaría configurado para ser simulado en los periodos posteriores. Se debe tener en cuenta que cada vez que el usuario deseará simular el programa para un periodo ya lanzado deberá de realizar la configuración inicial otra vez siguiendo las indicaciones anteriormente dichas.

Una vez configurado el programa a partir de allí se lanzará siempre utilizando la siguiente función:

- Quality_Control.m: Este código genera los mapas, los histogramas y los perfiles conjuntamente para las dos zonas. El usuario ira lanzando esta función para los periodos posteriores al de referencia que deseara simular. En el lanzamiento el usuario indicará la fecha inicial, que será la próxima fecha a la fecha final indicada en la configuración inicial del programa. Por ejemplo, si anteriormente hemos simulado hasta la fecha final de 31 de diciembre de 2019, en este lanzamiento nuestra fecha inicial será la de 1 de enero de 2020. Posteriormente el usuario indicara también la fecha final hasta donde deseara simular, y el número de zona para la cual deseara simular (Un “1” para Barrax o un “2” para Moncada). Podemos observar un ejemplo de lanzamiento de esta función en la siguiente figura simulado para el mes de enero de 2020:

```
Command Window
>> Quality_Control
Enter the initial date (YYYYMMDD): 20200101
Enter the final date (YYYYMMDD): 20200131
fx Enter the zone number (1 for Barrax or 2 for Moncada): 1|
```

Figura 6. 5 - Ejemplo de ejecución para Barrax (Quality_Control.m)

6.3 Resultados del programa

El programa en la configuración inicial ya crea carpetas donde se van guardando los resultados de cada simulación. La organización de las carpetas es la siguiente:

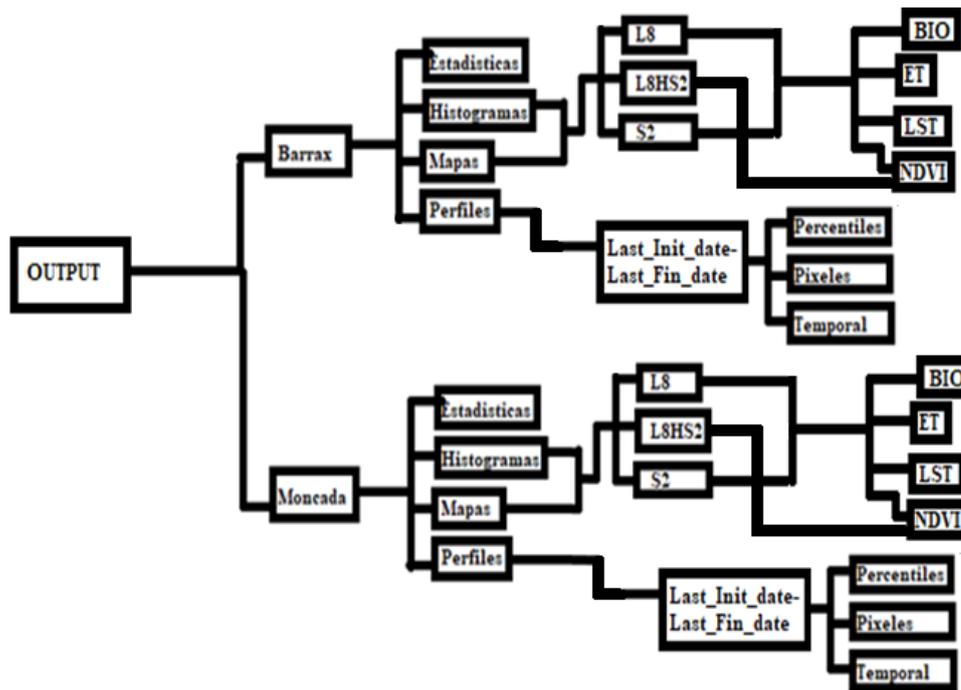


Figura 6. 6 - Organización de las carpetas de los resultados del programa

Como se puede observar en la anterior figura el programa guarda los resultados en una carpeta llamada “OUTPUT”, que se crea en la ruta del trabajo de MATLAB. En esta carpeta se encuentran los resultados separados por cada zona. En cada carpeta de la zona tenemos 4 carpetas:

- Estadísticas: En esta carpeta se guardan las estadísticas en un fichero de texto de cada simulación que se haga. El fichero de texto lleva el nombre con la fecha final de cada simulación, esto nos ayuda a conocer hasta donde hemos simulado, y a conocer la fecha próxima a simular.
- Histogramas: En esta carpeta se van guardando los histogramas en carpetas separadas por satélite en un primer nivel y por parámetro en un segundo nivel.
- Mapas: En esta carpeta se van guardando los mapas en carpetas separadas por satélite en un primer nivel y por parámetro en segundo nivel igual que los histogramas.
- Perfiles: En esta carpeta se van guardando los perfiles en carpetas separadas por fechas de ejecución en un primer nivel y luego separando por cada tipo de perfiles (Percentiles, Numero de Píxeles y Temporales).