

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Monitoreo de índices de vegetación en la producción del cultivo de
banano (*Musa paradisiaca*) en la Corporación Palmar (Provincia de El Oro)
mediante técnicas de percepción remota**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Agrónoma

Autores:

Silvana Elizabeth Beltrán Romero
Yessenia Katalina Bravo Macancela

Director:

Daniel Augusto Orellana Vintimilla
ORCID:  0000-0001-8945-2035

Cuenca, Ecuador
22-11-2023

Resumen

El seguimiento del cultivo de *Musa paradisiaca* en el Ecuador es de trascendental importancia debido a que es el principal producto agrícola exportado a nivel mundial; además, desde el punto de vista económico genera fuentes de trabajo y divisas internas al país, siendo también un importante sostén para la seguridad alimentaria. La incidencia de la tecnología es muy significativa en la producción agropecuaria; en particular, el uso de imágenes satelitales y técnicas de percepción remota, permiten a los productores evaluar correctamente las condiciones antes, durante y después del ciclo del cultivo para tomar decisiones efectivas. En este trabajo se realizó el monitoreo de los índices de vegetación en la producción del cultivo de banano del cultivar Cavendish en la Corporación Palmar mediante técnicas de teledetección remota entre los años 2017 a 2019, donde se determinó la correlación que existe entre los índices de vegetación y la producción del cultivo de banano, para las fincas en estudio con el uso de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2. Para ello se realizó un análisis de correlaciones entre la producción y los índices de percepción remota y no se obtuvo la correlación esperada entre estas dos variables para ninguno de los dos sensores. Esto puede deberse a diferentes factores como son la zona geográfica, el alto porcentaje de nubosidad lo que dificulta tener suficiente información satelital a lo largo del tiempo. Por otro lado, es posible que existan otras variables de confusión de las cuales no se tiene información por ejemplo técnicas de manejo de plagas, riego, entre otras que estén influyendo en la producción. Tomando en cuenta los avances tecnológicos, las nuevas plataformas satelitales y la popularización de la teledetección, se recomienda seguir explorando las técnicas de teledetección como soporte al manejo del cultivo de banano.

Palabras claves: imágenes por satélites, landsat, banano, correlación



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The monitoring of the cultivation of *Musa paradisiaca* in Ecuador is of transcendental importance because it is the main agricultural product exported worldwide; in addition, from the economic point of view, it generates sources of work and internal currency for the country, being also an important support for food security. The incidence of technology is very significant in agricultural production; in particular, the use of satellite images and remote sensing techniques allow producers to correctly assess the conditions before, during and after the crop cycle to make effective decisions. In this work, the monitoring of the vegetation indices in the production of the banana crop of the Cavendish cultivar in the Palmar Corporation was carried out through remote sensing techniques between the years 2017 and 2019, where the correlation that exists between the vegetation indices was determined and the production of the banana crop, for the farms under study with the use of Landsat 8 and Sentinel 2 satellite images. This may be due to different factors such as the geographical area, the high percentage of cloudiness, which makes it difficult to have enough satellite information over time. On the other hand, it is possible that there are other confounding variables for which there is no information, such as pest management techniques, irrigation, among others that are influencing production. Taking into account technological advances, new satellite platforms and the popularization of remote sensing, it is recommended to continue exploring remote sensing techniques to support banana crop management.

Keywords: satellite images, landsat, banana, correlation



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción.....	11
1. Objetivos	13
1.1. General.....	13
1.2. Específicos	13
2. Revisión bibliográfica	14
2.1. Trabajos relacionados.....	20
3. Metodología de la investigación	24
3.1. Localización del área de estudio	24
3.2. Datos y software	24
3.3. Análisis	25
4. Resultados y Discusión.....	31
4.1. Descripción general de los datos.....	31
4.2. Correlación entre los índices de percepción remota de cada satélite y la producción del cultivo.....	31
4.3 Comparación de imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 frente a los índices de vegetación	34
Conclusiones	39
Recomendaciones	40
Referencias.....	41
Anexos	46

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	24
Figura 2. Flujograma del proceso de análisis.....	26
Figura 3. Descarga de imágenes Landsat 8 y Sentinel 2.....	27
Figura 4. Base de datos de los índices de vegetación (muestra).....	30
Figura 5. Correlación Pearson (r) entre la producción y los índices de vegetación para Landsat 8 con sus respectivos histogramas.	33
Figura 6. Correlación de Pearson (r) entre la producción y los índices de vegetación para Sentinel 2 con sus respectivos histogramas	34
Figura 7. Histogramas de los índices de vegetación del cultivo de banano de cada satélite.	36
Figura 8. Diagramas de los índices de vegetación con la producción de Sentinel.....	37
Figura 9. Fenología del cultivo de Musa Paradisiaca	46
Figura 10. Asincronía en el cultivo del banano y etapas fenológicas de una unidad productiva del mismo.....	46

Índice de tablas

Tabla 1. Fórmulas de los índices de vegetación utilizados en este estudio.....	28
Tabla 2. Superficies y producción de cada finca.....	31
Tabla 3. Valores de los índices de vegetación de cada satélite y producción	32
Tabla 4. Resolución espacial de las bandas de Sentinel 2.....	47
Tabla 5. Resolución espacial de las bandas de Landsat 8.....	48
Tabla 6. Imágenes con su respectivo índice de vegetación y satélite para la posterior comparación.....	49

Abreviaturas y Terminología

- NDVI: Índice diferencial normalizado de vegetación.
- EVI: Índice de vegetación mejorada.
- NDRE: Diferencia normalizada de borde rojo.
- EOS: (Earth Observing System): plataforma basada en la nube de la cual se obtienen imágenes y análisis de datos satelitales.
- IBM SPSS: En inglés Statistical Package for Social Sciences, que significa Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales.
- NIR: Banda infrarroja cercana.

Agradecimientos

Nuestro profundo agradecimiento a Dios por darnos la fortaleza para seguir adelante y cumplir una de las metas tan anheladas; a nuestros padres, hermanos, familiares y amigos que estuvieron presentes en el desarrollo de nuestra carrera.

A nuestro director de tesis Dr. Daniel Orellana por haber asumido la tarea de guiarnos en el proceso, ya que, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo, a los miembros delegados del tribunal por orientarnos en todo el proceso investigativo. Además, agradecemos al Ing. Fernando Ulloa por la ayuda brindada para el desarrollo del estudio.

Silvana y Yessenia

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fortaleza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Olga y Manuel quienes, con su amor, paciencia y sacrificio durante todos estos años, me han permitido culminar una etapa llena de obstáculos; gracias por confiar e inculcarme el ejemplo de ser una persona obstinada y valiente. Ustedes han sido mi mayor orgullo e inspiración en todo este proceso. Me siento privilegiada de ser su hija, son los mejores padres.

A mi esposo Pablo, hija Yasu y hermanos Manuel, Kendra, Eddy y tío Silberio por su cariño y brindarme un apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento, gracias, a aquellas palabras de aliento para seguir adelante, por extenderme su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día.

En especial a mi abuelita Adelina de Jesús que desde el cielo está viendo que con tanto esfuerzo conseguí mi mayor propósito; y en sí, a toda mi familia porque con sus oraciones y consejos hicieron de mí una mejor persona.

Yessenia Bravo

Agradecida principalmente con Dios, por la salud y la fuerza para cada día continuar adelante en el proceso y nunca darme por vencida.

A mis padres Modesto y Fátima por ser el pilar fundamental en mi vida, por el amor, esfuerzo y dedicación para que cumpla una meta más en mi formación académica.

A mis hermanos Stalin, Oscar y Jinsop por siempre estar ahí apoyándome tanto económica como moralmente en todo momento.

A mi esposo David y a mis hijos Sarahí y Davy porque llegaron en el momento justo para que siga adelante y no me dé por vencida ante cualquier adversidad y pueda cumplir mis metas propuestas, Uds. han sido mi mayor inspiración.

A mi familia en general y amigos por estar aconsejándome y alentándome a cumplir mis objetivos.

Silvana Beltrán

Introducción

La agricultura en el país representa la actividad más importante para la sobrevivencia y satisfacción de las necesidades humanas (Centanaro y Nava, 2021). Por ello requerimos de nuevas alternativas para evitar pérdidas en la producción y una de ellas es la tecnología, principalmente la agricultura de precisión. Es posible definir el método más conveniente en la gestión y control del cultivo, esto con el fin de elevar su rendimiento y al mismo tiempo proteger el medio ambiente (Ponce, 2017).

El banano es el principal producto que el Ecuador produce, exporta y representa el 30% de la oferta mundial, que significa el 15% del total de las exportaciones. En el país hay 300.000 hectáreas de musáceas, las cuales dan trabajo al 17% de la población económicamente activa (El comercio, 2019). Para el año 2020 se generó empleo en un 86% del total de las empresas que están dedicadas al cultivo de bananos y plátanos; por otro lado, representó un crecimiento del 11% en comparación al año 2019 de exportaciones del mismo (Corporación Financiera Nacional B.P., 2021). Al entender principalmente que significa la agricultura en la economía, se concluye que es una fuente de ingreso que permite en la región Costa consolidar la economía nacional (Martínez et al., 2015) ; ya que, para el año 2020 la producción de banano representó el 92%, concentrada en las provincias de Los Ríos (41%), Guayas (26%) y El Oro (25%) (Corporación Financiera Nacional B.P., 2021). Por consiguiente, el cultivo de banano es un importante sostén para la economía y seguridad alimentaria del país (Tipantuña, 2017).

Uno de los factores que dificultan el uso de sensores remotos en el banano es la asincronía del cultivo. La asincronía se refiere a que “la unidad productiva está conformada de forma simultánea por tres plantas de diferentes edades: la planta madre que fue la primera generación (G1), la planta hija que fue la segunda generación (G2) y la planta nieta que corresponde a la tercera generación (G3)” (Guzmán et al., 2022, pp. 4) como se muestra en la Figura 10. “Debido a que el banano es un cultivo asincrónico, podría presentarse una respuesta espectral diferente por edad para cada una de las plantas que conforman la unidad productiva” (Guzmán et al., 2022, pp. 4)

La asincronía en el cultivo del banano tiene tres fases:

- a) infantil, que comprende desde la aparición de la yema lateral hasta la emisión de la primera hoja normal,
- b) fase de juvenil, que es el intervalo entre la emisión de la primera hoja normal y la diferenciación floral

c) fase reproductiva, que inicia desde la diferenciación floral y termina con la cosecha del fruto (Figura 10). Cada nueve meses una planta de banano produce un solo racimo, el cual contiene entre cinco y diez manos y cada mano presenta de diez a veinte frutos (Guzmán et al., 2022, pp. 5).

Dado la importancia del cultivo en el país y teniendo en cuenta las posibles fluctuaciones en los patrones climáticos actuales y futuros debido al cambio climático, es fundamental comenzar por identificar y diseñar estrategias que reduzcan la fragilidad del cultivo. Esto, a su vez, posibilitará su capacidad de adaptación, con el objetivo de minimizar los efectos adversos que estos cambios puedan tener en la agricultura (Vargas et al., 2017).

No hay un índice de vegetación perfecto, por lo que los índices conocidos representan una aproximación a la perfección. Estos índices se basan en el uso de las bandas rojas e infrarrojas, ya que contienen más del 90% de la información espectral relacionada con la cubierta vegetal y su actividad fotosintética (Pérez y Muñoz, 2006). De acuerdo a Cáceres, (2017) estos índices se consideran medidas cuantitativas que se calculan mediante la reflectividad a distintas longitudes de onda.

Las imágenes satelitales son de vital importancia a la hora de monitorear el cultivo, ya que, nos proporcionan variables como el vigor vegetal, rendimiento, productividad, entre otros, para dar seguimiento continuo del cultivo y detectar oportunamente los diversos factores que se presentan durante el ciclo del cultivo. La actuación consecuente significa una toma efectiva de decisiones para el manejo antes que se presenten pérdidas significativas, tanto del cultivo como económicos. Es por ello que, se debe realizar estudios que tecnifiquen los cultivos extensivos, ayudando a los productores bananeros a que generen más réditos por venta del producto y cubra la inversión del capital invertido en el cultivo.

1. Objetivos

1.1. General

Monitorear los índices de vegetación en la producción del cultivo de banano del cultivar Cavendish en la Corporación Palmar mediante técnicas de percepción remota entre los años 2017 al 2019.

1.2. Específicos

- 1.2.1. Determinar si existe una correlación entre los índices de vegetación de percepción remota y la producción del cultivo de *Musa paradisiaca* en las fincas de estudio.
- 1.2.2. Comparar las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 para el estudio del cultivo de *Musa paradisiaca*.

2. Revisión bibliográfica

La percepción remota y la teledetección se refieren al uso de las tecnologías en de sensores aéreos con respecto a la detección o clasificación de objetos en la Tierra (en la superficie, atmósfera y los océanos) mediante el análisis de señales que se propagan como sucede con la radiación electromagnética (Camacho et al., 2015).

Conceptos claves	Descripción
<p>Teledetección</p>	<p>Se trata de una tecnología que posibilita monitorear constantemente el estado de los cultivos, con una frecuencia cercana a la diaria. Esto la convierte en la herramienta más eficaz y precisa para obtener una variedad de indicadores relacionados con estos cultivos. Como resultado, esta tecnología contribuye significativamente a mejorar la eficiencia en el uso del agua y la energía, optimizar la distribución de las parcelas, buscar escenarios de mayor productividad y perfeccionar la gestión de los nutrientes en el suelo (Fernández et al., 2021).</p> <p>Las técnicas de teledetección pueden registrar información biofísica sin necesidad de tener contacto con el elemento mediante sensores. Las imágenes obtenidas permiten procesarse con interés agronómico, como sucede con el grado de cobertura de un cultivo sobre el terreno (Balbontín et al., 2019).</p>
<p>Sensores activos y pasivos</p>	<p>Los sensores pasivos hacen uso de las fuentes naturales de radiación, principalmente la radiación solar, y se concentran en capturar la radiación reflejada o emitida por los objetos de interés. En contraste, los sensores activos emiten radiación y registran la radiación reflejada por los elementos en el entorno (Olaya, 2014).</p>

Imagen satelital

Estas imágenes están formadas por matrices en las que cada celda corresponde a un píxel, y el tamaño de estos píxeles está determinado por la resolución espacial del sensor. La cantidad de valores digitales que se pueden representar en la imagen dependerá de la resolución radiométrica del sensor (Bravo, 2017).

Sentinel 2

Forma parte del programa Sentinel, centrado en la supervisión ambiental, y su objetivo se deriva de una estrecha colaboración entre la Agencia Espacial Europea (ESA), la Comisión Europea y diversos actores en la industria aeroespacial, proveedores de servicios y usuarios de datos (Esa, 2012).

La misión Sentinel-2 se basa en una constelación de dos satélites idénticos que comparten la misma órbita polar. Fue diseñada para ofrecer una alta frecuencia de revisita de 5 días en la región ecuatorial. Sentinel-2A se lanzó al espacio el 23 de junio de 2015, seguido por Sentinel-2B el 7 de marzo de 2017. Cada uno de estos satélites gemelos está equipado con un instrumento óptico multiespectral (MSI) que puede capturar datos en 13 bandas espectrales: cuatro bandas con una resolución espectral de 10 metros, seis bandas de 20 metros y tres bandas de 60 metros. Además, cuentan con una cámara multiespectral de alta resolución que proporciona una nueva perspectiva de la superficie terrestre y la vegetación. La resolución temporal de cada satélite de la misión Sentinel-2 es de 10 días por separado, pero al estar ambos en operación, la frecuencia se duplica, logrando una resolución temporal de 5 días en condiciones de iluminación similares, a excepción de regiones observadas solo por uno de los satélites (Esa, 2015).

Según Copernicus, (2018) la órbita de la misión Sentinel-2 es heliosíncrona, lo que significa que está sincronizada con el Sol.

Esto asegura que el ángulo de la luz solar sobre la superficie terrestre permanezca en gran medida constante.

La resolución espacial de cada una de las bandas y que se resume según Copernicus, (2018) (véase la tabla 8):

- 4 bandas a 10 m: banda 2, banda 3, banda 4 y banda 8.
- 6 bandas a 20 m: banda 5, banda 6, banda 7, banda 8a, banda 11 y banda 12.

3 bandas a 60 m: banda 1, banda 9 y banda 10.

Landsat 8

Fue un programa que se inició el 11 de febrero de 2013 en la Base de la Fuerza Aérea de Vandenberg, California. Tiene la capacidad de ofrecer una gama de valores de píxeles de 12 bits (equivalente a 4096 niveles), lo que resulta en una mejora de la precisión (Dev e Intae, 2015).

Tiene un ciclo de repetición de 16 días (Usgs, 2023).

Landsat 8 está equipado con dos dispositivos científicos, el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrared Sensor (TIRS). Estos dos sensores ofrecen una cobertura estacional de la superficie terrestre en todo el mundo, con una resolución espacial de 30 metros en las bandas visibles, infrarrojas cercanas y shortwave infrared (NIR, SWIR), 100 metros en la banda térmica y 15 metros en la banda pancromática (Taylor, 2021) (véase la Tabla 9).

Según Eos, (2021) describe que

- La banda 1 (azul profundo/violeta): esta es capaz de recoger el color azul profundo y, por consiguiente, ayuda a vigilar las costas.
- La banda 5 (infrarrojo cercano) es la banda térmica y es muy importante en términos de monitorización ecológica, ya que el infrarrojo cercano es el espectro que refleja el agua contenida en las plantas.

- Las bandas espectrales 6 y 7 utilizan diferentes partes del infrarrojo de onda corta y son útiles para controlar las rocas y los suelos.
- La banda 8 es la pancromática de Landsat 8, es decir, en blanco y negro, ya que recoge el mayor número posible de espectros en un solo canal, lo que le permite obtener imágenes más nítidas que en cualquier otra. Debido a que el sensor captura más luz, su resolución es de 15 m por píxel, frente a los 30 m de otros.
- La combinación de las bandas 3, 4 y 5 de Landsat 8 se utiliza para vigilar las plantas y los bosques con mayor precisión que una simple imagen del verdor.
- La banda 9 es la menos visible de las bandas de Landsat 8, pero no por ello menos interesante. Cubre un rango muy estrecho de frecuencias.
- Las bandas 10 y 11 son las bandas de infrarrojos térmicos del Landsat 8 y pueden ver el calor, y esta combinación de bandas térmicas son las más inexactas debido a la dispersión del calor (la resolución de los píxeles es de solo 100 metros), pero aportan más información en color falso. Esta característica se utiliza para evaluar la humedad del suelo y la evapotranspiración y, por tanto, para definir la tasa de aplicación de agua.

Índices de vegetación

de Estas son mediciones cuantitativas que se fundamentan en valores digitales y suelen evaluar la biomasa o la salud de la vegetación. Normalmente, un índice de vegetación consiste en una combinación de las bandas espectrales, que implica la manipulación de varios valores espectrales mediante sumas, divisiones o multiplicaciones, diseñados para generar un único valor que refleje la cantidad o vitalidad de la vegetación en un píxel. Esto nos permite estimar y valorar el estado de salud de la vegetación a partir de la radiación que las plantas emiten o reflejan. Los valores altos de los índices de vegetación indican

que los píxeles están mayormente cubiertos por vegetación saludable (García, 2015).

NDVI (Índice de diferencia normalizado de vegetación) Es uno de los más apropiados para rastrear el progreso en el crecimiento de la vegetación, ya que evalúa la cantidad de biomasa fotosintéticamente activa en las plantas. No obstante, este índice de vegetación es especialmente sensible a la iluminación del suelo y a las condiciones atmosféricas. Es, de hecho, el índice de vegetación más utilizado en la teledetección. Su aplicación es válida durante todo el ciclo de crecimiento de los cultivos, excepto en situaciones en las que la vegetación y su cobertura son extremadamente escasas, ya que su reflectancia espectral es mínima. Los valores del NDVI son más fiables en el punto intermedio de la temporada, durante la fase activa de crecimiento de los cultivos (Sergieieva, 2022).

NDRE (Diferencia normalizada de borde rojo) Se obtiene al fusionar las bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR) con una banda específica que abarca el estrecho rango entre el rojo visible y la región de transición, conocida como la zona del borde rojo. Para garantizar la máxima precisión de los datos, se aconseja utilizar el NDRE en conjunto con el NDVI. Por lo general, este índice de vegetación se emplea en áreas de vegetación densa. El NDRE suele ser de utilidad para monitorear cultivos que han llegado a su etapa de madurez (Sergieieva, 2022).

EVI (Índice de vegetación mejorada) Liu y Huete desarrollaron el índice de vegetación EVI con el propósito de ajustar las mediciones del NDVI a los efectos indeseables de la atmósfera y el suelo, particularmente en áreas con densa vegetación, así como para abordar la posible saturación en la mayoría de las situaciones. El rango de

valores del EVI oscila entre -1 y +1, y en condiciones de vegetación saludable, generalmente varía entre 0.2 y 0.8. El EVI incorpora los coeficientes C1 y C2, que se utilizan para corregir la interferencia de aerosoles atmosféricos y L para ajustar el fondo del suelo y la vegetación en el dosel. Para los principiantes en el análisis de Sistemas de Información Geográfica (SIG), puede resultar confuso determinar qué valores emplear y cómo calcular el EVI con datos satelitales diversos. Este índice se utiliza en el estudio de áreas terrestres con una gran cantidad de vegetación rica en clorofila, como los bosques tropicales, y se prefiere en regiones de topografía plana en lugar de zonas montañosas (Sergieieva, 2022).

Cultivo de banano El banano *Musa paradisiaca* es miembro de la familia *Musaceae* y se caracteriza como una planta herbácea perenne. Tiene un rizoma de longitud limitada y un tallo que se forma a partir de la unión de las vainas foliares. El tallo tiene una forma cónica y puede alcanzar alturas que oscilan entre 3.5 y 7.5 metros, terminando en una corona de hojas. Esta planta prospera en climas que van desde templados hasta condiciones propias de bosques tropicales, donde las temperaturas se sitúan entre 12 y 24 grados Celsius, y la precipitación varía entre 1000 y 1200 mm (MAG, 2013).

A continuación, se presenta la fenología del cultivo según Marcelino et al., (2012):

- Vegetativa (crecimiento): Siembra hasta el momento de la emisión de la inflorescencia (6,5 a 7,5 meses después de la siembra).
- Reproductiva (floración): Desde el momento de la emisión de la inflorescencia hasta la aparición del último cojín de las flores masculinas (10 a 15 días).

- Productiva (llenado o madurez del racimo: Exposición del último cojín de flores masculinas, hasta la cosecha del racimo.
- Sucesión (retorno de la producción): Paralelamente al desarrollo fisiológico de la planta madre, se va dando el desarrollo del retoño de sucesión (hijo primario). Este deberá entrar en su fase reproductiva de 2,5 a 3 meses después de la cosecha de la planta madre y para la cosecha de 5,5 a 6,0 meses posteriores (p. 5).

2.1. Trabajos relacionados

Un estudio basado en imágenes satelitales y uso de índices de vegetación es el de Fiant et al., (2019) realizado en España, donde, analizaron la correlación entre índices de vegetación y rendimiento en el cultivo de maní por cajas con la utilización del sensor MODIS Terra e hicieron el análisis del coeficiente de Pearson para determinar dicha correlación.

En cuanto a estudios similares en el cultivo de banano con el uso de imágenes satelitales e índices de percepción remota se tiene que las imágenes Landsat 8 han sido más utilizadas para evaluar índices de vegetación, así tenemos el estudio de Mora y Cerdas, (2015) realizado en Costa Rica, en el cual, analizaron el estrés del cultivo de banano especialmente por la presencia de plagas y enfermedades, donde, indica que los valores para el NDVI de las bandas NIR y SWIR son apreciables a pesar de que el procesamiento fue realizado a partir de imágenes Landsat 8 que poseen un tamaño de píxel de 30X30 m.

También se cuenta con un estudio similar al anterior con el uso de imágenes satelitales e índices de vegetación realizado en Puerto Rico por Escobar, (2015) en el cultivo de banano, midiendo respuestas espectrales a la fertilización de nitrógeno y potasio con el uso de imágenes satelitales Landsat 8, IKONOS y RapidEye; donde se utilizó una clasificación supervisada con tres tipos de algoritmos: Maximum Likelihood, Fisher lineal Likelihood y

ECHO Spectral Spatial. Para identificar el cultivo de banano de otros cultivos adjuntos la mejor concordancia fue las imágenes Landsat 8; luego se realizaron varios índices de vegetación para medir el contenido de potasio y nitrógeno.

Teniendo en cuenta que la vegetación en los campos de cultivo persiste la mayor parte del tiempo durante el año; como consecuencia, la probabilidad de adquirir una imagen libre de nubes y encontrar, al mismo tiempo, suelo desnudo es bastante baja.

En el estudio de Ovando et al., (2021), se analizó la capacidad predictiva de varios índices de vegetación derivados de los datos radiométricos proporcionados por Sentinel 2A. En el contexto de la agricultura de precisión, se evaluó su eficacia para estimar las fluctuaciones en el rendimiento de cultivos de soja (*Glycine max*) en una parcela de producción. Esto se logró utilizando un mapa de rendimiento de soja y calculando los índices de vegetación, como el NDVI, EVI y la profundidad óptica de la vegetación (VOD).

Según la investigación de Guzmán et al., (2022), llevaron a cabo una revisión exhaustiva sobre las aplicaciones de sensores remotos en el contexto del cultivo del banano, centrándose en tres aspectos específicos: la delimitación de las áreas de cultivo, la estimación de su rendimiento y el diagnóstico de enfermedades. Sin embargo, se destaca que los estudios relacionados con la productividad del banano son escasos y, en su mayoría, se han centrado en la utilización de índices de vegetación, con resultados de correlación insuficientes. Por otro lado, en lo que respecta a la detección de enfermedades, se han enfocado en las enfermedades más relevantes que afectan la producción, y en algunos casos han logrado correlaciones que superan el 90%.

En el artículo de Fan et al., (2015) se basó en la fenología para el mapeo de plantaciones de caucho utilizando datos Landsat OLI con el uso de cinco índices espectrales de vegetación (NDVI, EVI, ARVI, NDMI y TCG) extraídos de muestras de datos de referencia aleatorios indicaron diferencias drásticas entre los tres tipos de cobertura terrestre examinados.

Se pueden citar también algunos ejemplos de índices de vegetación en los que se han utilizado imágenes de percepción remota para evaluar los cultivos, así se puede citar el estudio de Liu et al., (2019) en el que analizó si el estrés en el cultivo de arroz era ocasionado por cadmio (metal pesado) y si este era detectable en imágenes Sentinel 2 utilizando el índice de vegetación NDRE y un método bayesiano en la variación de tiempo espacio-temporal, que fue desarrollado en China.

En otra investigación llevada a cabo por Guerrón et al., en 2022, se llevó a cabo la validación de índices de vegetación, específicamente el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI) y el Índice de Vegetación Transformado (TVI). Estos índices se basaron en la información de las bandas de luz roja e infrarroja cercana, y se compararon con el contenido de nitrógeno en las hojas de aguacate. Utilizando dos conjuntos de imágenes aéreas en plantaciones de aguacate, se realizaron análisis de regresión y correlación para evaluar la relación entre estos índices de vegetación y el contenido de nitrógeno foliar.

En otro trabajo de investigación realizado por Bastidas y Naranjo en 2022, desarrollaron y pusieron a prueba un enfoque para detectar los síntomas de Fusarium raza 1 utilizando técnicas geoespaciales y drones no tripulados. La primera etapa involucró la recopilación de datos en el campo, que incluyó la captura de imágenes tanto multiespectrales como en colores RGB con un vehículo aéreo no tripulado (UAV). En la segunda fase, se llevó a cabo un análisis de estos datos mediante la utilización de cuatro índices de vegetación (NDVI, NDRE, CIRE, CIGreen) y tres métodos de clasificación, a saber, el Algoritmo Random Forest, el Algoritmo Spectral Angle Mapper, y un método de segmentación de imágenes basado en los índices de vegetación. Por último, en la tercera fase, se aplicaron diversas técnicas estadísticas y se procedió a validar el método, empleando la matriz de confusión y el índice kappa.

Adicionalmente, en la búsqueda de información sobre el cultivo de banano e imágenes satelitales en la zona de estudio donde no hay mucha información en el país, pero cabe recalcar un estudio importante realizado por Guevara, (2020) en la provincia del Guayas, que tomó como referencia el análisis de imágenes satelitales Sentinel 2B para determinar los gases de efecto invernadero, con un 22% de nubosidad y el 1% de sombras sobre la escena, realizando una clasificación no supervisada para determinar la dosificación de fertilizantes, pero no se pudieron obtener los resultados esperados debido a la resolución de los píxeles por la altura a la que captura las imágenes el satélite; lo compararon con vehículos aéreos no tripulados en los que podían establecer la altura que querían tomar las imágenes y este método resultó más valedero para el estudio.

Según Intriago, (2022) en su “Estudio comparativo de dos métodos de detección de cultivos de cacao, banano y palma en la zona oeste de la provincia de Los Ríos, a partir de las imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2” determino que el uso de imágenes satelitales determina las diferentes coberturas según la época del año en que se encuentren, obteniendo resultados favorables para cacao y banano que mostraron una mejor respuesta según los clasificadores aplicados para los diferentes índices de percepción remota (NDVI, GNDVI,

MSI, GCI). De forma general, para clasificar todas las coberturas analizadas, la mejor combinación es Random Forest con imagen de Sentinel-2, mientras que, la combinación menos recomendada es Maximum Likelihood con Sentinel-2. En relación con las imágenes, Landsat-8 presentó mejores resultados, no obstante, su diferencia estacional con Sentinel-2 fue una condicionante importante.

En el informe de Ovando et al., (2021), se llegó a la conclusión de que diversas combinaciones de las bandas 8 (infrarrojo cercano, NIR) y 12 (infrarrojo de onda corta, SWIR) en el análisis de índices de vegetación como el NDVI, EVI y la profundidad óptica de la vegetación (VOD) a partir de los datos del satélite Sentinel 2A, demostraron ser los más efectivos para predecir con precisión la productividad final del cultivo. Esto se tradujo en correlaciones significativamente altas, lo que permitió representar de manera suficientemente exacta la variabilidad espacial de los rendimientos en el campo de cultivo de soja. Sin embargo, en su estudio particular, no se lograron obtener resultados similares debido a la escasez de datos disponibles.

Finalmente, en estudios realizados en diferentes Satélites (MODIS), tenemos el de Fiant et al., (2019) donde pretendían determinar la correlación entre índices de vegetación y el rendimiento del cultivo de maní; obtuvieron como resultados que el EVI mostró una correlación moderada y el NDVI una correlación débil; pero, en la significación estadística los autores validaron el potencial uso de estos índices para la caracterización de rendimientos mediante modelos predictivos.

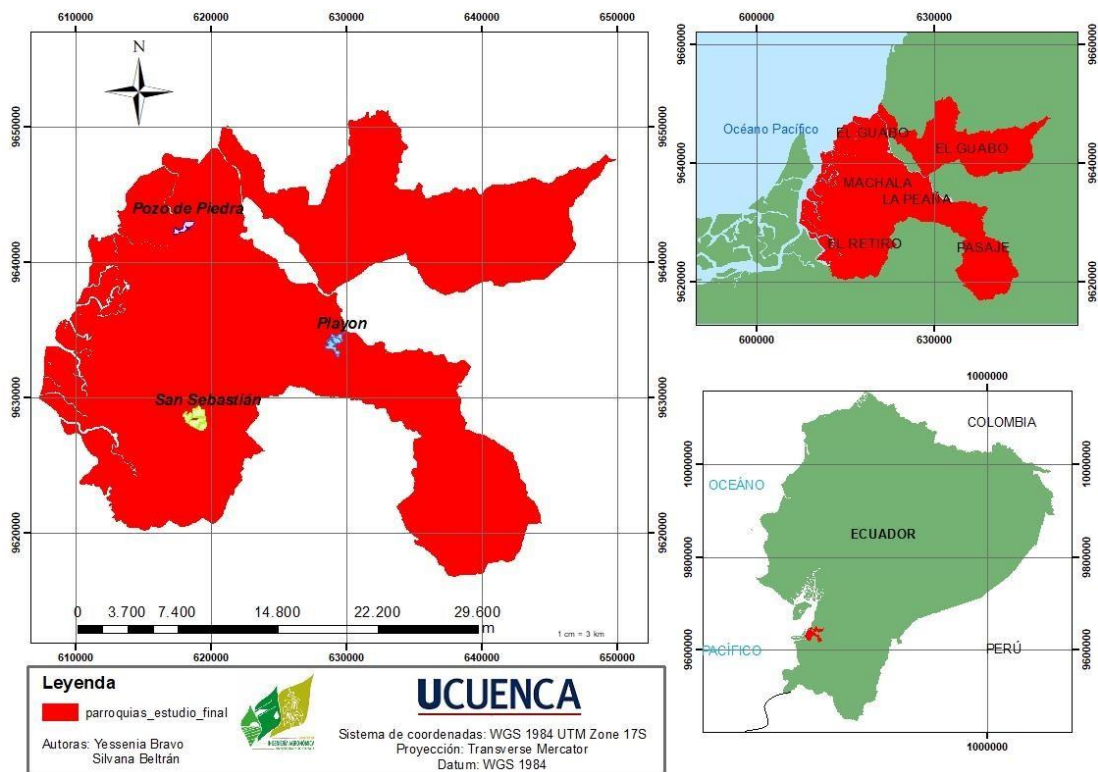
3. Metodología de la investigación

En el presente trabajo se realizó un análisis descriptivo para los procedimientos de cada imagen satelital. En base a los resultados obtenidos de las tres fincas de estudio y de los resultados de los índices de vegetación de las imágenes satelitales, consiguiendo así 29 datos de los años 2017, 2018 y 2019.

3.1. Localización del área de estudio

El proyecto se ejecutó en la provincia de El Oro en los cantones de Machala: El Guabo y Pasaje; las tres fincas estaban distribuidas en las parroquias de El Retiro, La Peaña, y el Guabo que son manejadas por la Corporación Palmar como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.



Nota: En este mapa se detalla la localización de las fincas de estudio.

3.2. Datos y software

3.2.1. Datos

Las imágenes se obtuvieron con los recursos satelitales Landsat 8 y Sentinel 2, para el monitoreo con gráficas de alta resolución de las fincas en el sector de la provincia de El Oro;

mientras que los datos de producción de cada finca fueron entregados por la Corporación Palmar recalcando que no existía toda la información para el presente estudio, por cambio de propietarios de cada una de ellas.

3.2.2. Imágenes satelitales

Para la descarga de las imágenes, primeramente, se indagó en varias páginas web en donde se pudiese encontrar imágenes Landsat 8 y Sentinel 2; por lo que, se obtuvo de la página web <https://eos.com/es/products/high-resolution-images/> en donde se encontró la información que se requería para el análisis de este estudio.

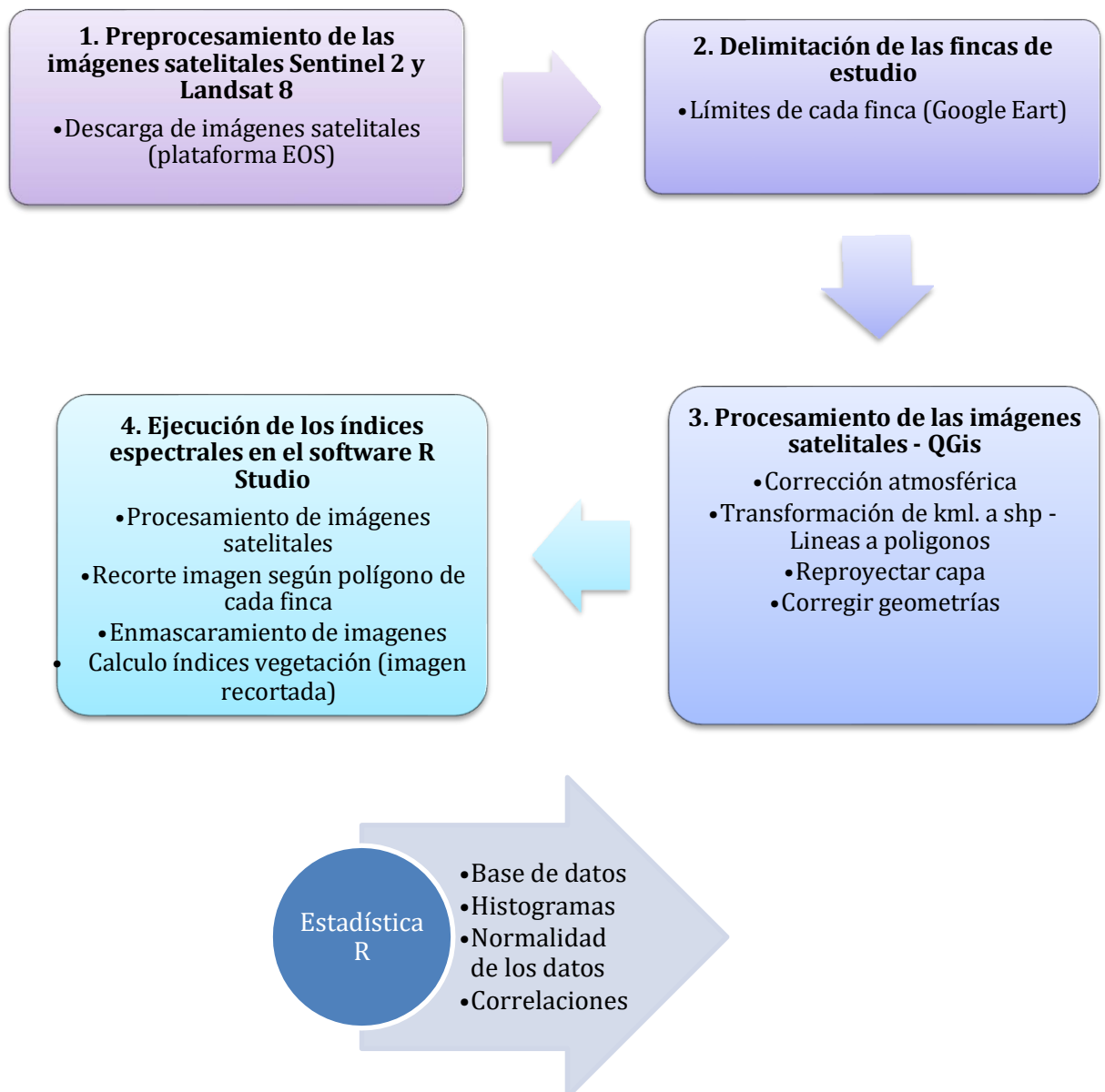
3.2.3. Software

Para la identificación y toma de coordenadas de referencia de las fincas en el área de estudio se manejó Google Earth, mientras que para el tratamiento y conversión de las imágenes obtenidas de la plataforma EOS se empleó QGis. Finalmente, para el recorte, mapeo y realización de índices de vegetación de las imágenes y para la estadística descriptiva de las imágenes satelitales se usó R.

3.3. Análisis

A continuación, se presenta el proceso metodológico aplicado para el análisis de índices de percepción remota de las tres fincas ubicadas en la provincia de El Oro, el cual está basado en el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2 mediante el uso de software GIS y R.

Figura 2. Flujograma del proceso de análisis



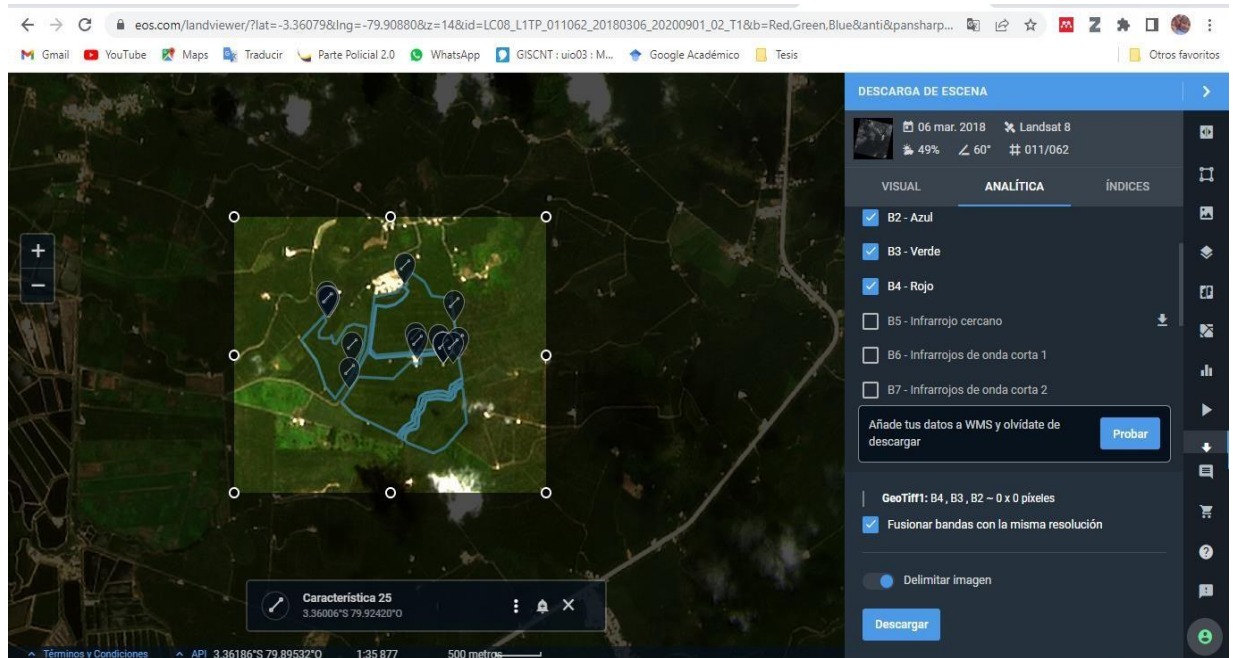
Nota: Se detalla la secuencia que se siguió para la elaboración de este estudio de las imágenes y los límites de cada finca.

3.3.1. Datos de preprocesamiento de las imágenes satelitales Sentinel 2 y Landsat 8

Se obtuvieron las imágenes satelitales Landsat 8 y Sentinel 2 desde la plataforma web Earth Observing System (EOS) en el siguiente enlace: “<https://eos.com/landviewer/?lat=-4.00000&lng=-79.21670&z=11>” cuyas imágenes satelitales corresponden a los años del 2017

al 2019. Las imágenes proporcionadas por EOS nos brindan información completa para el análisis en GIS y R como se muestra en la Figura 2.

Figura 3. Descarga de imágenes Landsat 8 y Sentinel 2.



Nota: Se muestra la página web donde se realizó la respectiva descarga de las imágenes de cada finca de estudio. Descargado de la plataforma <https://eos.com/landviewer/?lat=-4.00000&lng=-79.21670&z=11>.

3.3.2. Delimitación de las fincas de estudio

Para obtener cada zona de estudio se dibujó en la plataforma de Google Earth las líneas que delimitarán a cada polígono.

3.3.3. Procesamiento de las imágenes satelitales

En el software QGIS se realizó la corrección atmosférica de las imágenes con las bandas de reflectancia que se requieran para el análisis según sea el caso de las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2. Para cada imagen de las vegetaciones se ejecutó la transformación de kml. a shp.; líneas a polígonos, reproyección de la capa (dependiendo en qué sistema de coordenadas se encuentre cada imagen satelital posterior a la corrección atmosférica) y la corrección de la geometría.

3.3.4. Cálculo de los índices espectrales en el software R Studio

En el software R-Studio versión 4.2.3 se procedió a instalar los paquetes necesarios (raster, sf, moments y psych). Se cargaron las bandas de reflectancia previamente corregidas y se

calcularon los índices de vegetación (NDVI, NDRE, EVI) según la fórmula en cada caso como se muestra en la Tabla 1. Adicionalmente, se efectuó el filtro por valores de las imágenes donde se colocó el rango entre 0.2 y 1 para obtener solamente valores de vegetación para los tres índices en ambos satélites y excluir los de suelo desnudo. Después se realizó el recorte de las imágenes con el polígono de cada finca y el enmascaramiento, de esta manera, se obtuvieron las estadísticas de los rásters (mínimo, media, máximo, desviación estándar y kurtosis) con los cuales se pudo obtener una base de datos que permitió interpretar los resultados estadísticos como se muestra en la Figura 4.

Tabla 1. Fórmulas de los índices de vegetación utilizados en este estudio.

Índices de vegetación	Fórmula			Donde	Autor
	General	Landsat 8	Sentinel 2		
NDVI	$(\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$	$(\text{B05} - \text{B04}) / (\text{B05} + \text{B04})$	$(\text{B8A} - \text{B04}) / (\text{B8A} + \text{B04})$	NIR= Banda infrarroja cercana Red= Banda espectral roja	Rouse et. al. (1974) citado por (Marini y Santamaría, 2019)
NDRE	$(\text{NIR} - \text{Red Edge}) / (\text{NIR} + \text{Red Edge})$		$(\text{B8A} - \text{B05}) / (\text{B8A} + \text{B05})$	NIR= Banda infrarroja cercana Red Edge = Banda espectral del borde rojo	Rouse et. al. (1974) citado por Marini y Santamaría, (2019)

Índices de vegetación	Fórmula			Donde	Autor
	General	Landsat 8	Sentinel 2		
EVI	$G * ((NIR - RED) / ((NIR) + (C1 * RED) - (C2 * BLUE) + L))$	$2.5 * ((B05 - B04) / ((B05) + (6.0 * B04) - (7.5 * B02) + 1))$	$2.5 * ((B8A - B04) / ((B8A) + (6.0 * B04) - (7.5 * B02) + 1))$	<p>C1= 6 y C2= 7.5</p> <p>coeficientes para corregir la dispersión de los aerosoles presentes en la atmósfera</p> <p>L= 1; para ajustar el fondo del suelo y del dosel de la vegetación.</p> <p>G= Factor de cambio igual a 2.5</p>	<p>Liu y Huete (1995) citado por (Matsushita et al., 2007)</p>

Figura 4. Base de datos de los índices de vegetación (muestra).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Fecha	Finca	Satélite	NDVI mínimo	NDVI media	NDVI máximo	NDVI mediana	NDVI Desviación estándar	NDVI kurtosis	NDRE mínimo	NDRE media	NDRE máximo	NDRE mediana	NDRE Desviación estándar
2	6-may-17	San sebastian	Landsat-8	0,4069	0,8632	0,8951	0,8696	0,0309	52,9956					
3	13-oct-17	San sebastian	Landsat-8	0,2016	0,6872	0,8487	0,7889	0,1783	2,7488					
4	6-mar-18	San sebastian	Landsat-8	0,4307	0,8496	0,8899	0,8556	0,0323	44,1576					
5	6-mar-18	Pozo Piedra	Landsat-8	0,2449	0,8000	0,8789	0,8148	0,0692	27,1170					
6	23-abr-18	Pozo Piedra	Landsat-8	0,2117	0,7867	0,8705	0,8133	0,0817	14,0640					
7	28-dic-18	Playon	Sentinel-2	0,2012	0,8234	0,9215	0,8572	0,1096	14,6387	0,2006	0,0723	0,8614	0,7494	0,0917
8	28-dic-18	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2008	0,7053	0,8806	0,7127	0,1088	4,6697	0,2044	0,5832	0,8040	0,5838	0,1050
9	2-ene-19	San sebastian	Sentinel-2	0,2434	0,8353	0,8751	0,8409	0,0304	88,8578	0,2441	0,6916	0,7460	0,6278	0,0323
10	2-ene-19	Playon	Sentinel-2	0,2044	0,8318	0,8975	0,8556	0,0777	27,5233	0,2134	0,7061	0,7790	0,7299	0,0718
11	4-ene-19	San sebastian	Landsat-8	0,2014	0,7453	0,8754	0,8006	0,1675	5,5224					
12	1-feb-19	Playon	Sentinel-2	0,2006	0,6277	0,8681	0,6806	0,1585	0,3288	0,2029	0,5684	0,7800	0,6124	0,1364
13	21-feb-19	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2000	0,5232	0,7587	0,5336	0,1165	2,3277	0,2006	0,4865	0,7737	0,4935	0,1164
14	21-feb-19	Pozo Piedra	Landsat-8	0,2198	0,7383	0,8596	0,7830	0,1237	5,7617					
15	26-feb-19	Playon	Sentinel-2	0,2015	0,8389	0,9093	0,8637	0,0904	25,4118	0,2010	0,6810	0,7710	0,7031	0,0680
16	26-feb-19	San sebastian	Sentinel-2	0,2001	0,7533	0,8952	0,8371	0,1637	4,7563	0,2005	0,6136	0,7311	0,6652	0,1185
17	8-mar-19	Playon	Sentinel-2	0,2002	0,7393	0,8784	0,8041	0,1516	5,9470	0,2027	0,5932	0,7094	0,6385	0,1074
18	13-mar-19	Playon	Sentinel-2	0,2051	0,8177	0,9134	0,8521	0,0939	13,1183	0,2040	0,6963	0,7263	0,7263	0,0813
19	2-abr-19	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2001	0,7418	0,8816	0,7996	0,1434	6,7214	0,2046	0,5744	0,6911	0,6081	0,0995
20	7-abr-19	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2000	0,6402	0,8733	0,7004	0,1823	2,6000	0,2004	0,5102	0,6998	0,5492	0,1283
21	7-abr-19	San sebastian	Sentinel-2	0,2001	0,6943	0,8774	0,7802	0,1772	3,6920	0,2003	0,5787	0,7486	0,6362	0,1331
22	10-abr-19	San sebastian	Landsat-8	0,4424	0,8538	0,8912	0,8588	0,0282	64,8118					
23	10-abr-19	Pozo Piedra	Landsat-8	0,2417	0,7821	0,8651	0,7979	0,0661	23,9063					
24	12-abr-19	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2085	0,7687	0,8712	0,7926	0,0913	15,8680	0,2206	0,5753	0,6789	0,5913	0,0699
25	22-abr-19	San sebastian	Sentinel-2	0,2000	0,7534	0,8745	0,8206	0,1566	6,2446	0,2000	0,6023	0,7051	0,6448	0,1095
26	22-abr-19	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2056	0,8391	0,9150	0,8540	0,0675	29,1095	0,2154	0,8573	0,9450	0,8772	0,0776
27	26-abr-19	San sebastian	Landsat-8	0,3706	0,8406	0,8828	0,8457	0,0337	61,5946					
28	26-abr-19	Pozo Piedra	Landsat-8	0,3159	0,8190	0,8850	0,8369	0,0684	22,7748					
29	2-may-19	Pozo Piedra	Sentinel-2	0,2006	0,6054	0,8669	0,6230	0,1440	2,8490	0,2016	0,4823	0,6871	0,4988	0,1085

Nota: Se muestran los datos obtenidos de este estudio de la estadística descriptiva de cada imagen. Realizado por las autoras.

Finalmente se elaboró una base de datos con los resultados de los estadísticos descriptivos de los índices de vegetación de cada satélite y de los datos de producción para cada finca y fecha de análisis en Excel.

4. Resultados y Discusión

4.1. Descripción general de los datos

Se recolectó información de las 3 fincas, donde se obtuvo una base de datos de 29 imágenes que se la puede visualizar en anexos en la Tabla 9. La Corporación Palmar brindó información de superficie y producción de algunas de ellas y de las otras se obtuvo directamente de los polígonos que se visualizan en la Tabla 2.

Tabla 2. Superficies y producción de cada finca.

Finca	Superficie (ha)	Promedio de producción (cajas/ha anual)
Pozo de piedra	58	60,61
San Sebastián	166,26	60,33
Playon	93,94	57,92

Nota: En la tabla se muestra valores de superficie y producción promedio anual de las fincas; dicha información es la base para el análisis y comparación de los índices de vegetación NDVI, NDRE y EVI.

4.2. Correlación entre los índices de percepción remota de cada satélite y la producción del cultivo

En la Tabla 3 los valores correspondientes que se basan en la media estadísticamente para cada finca.

Tabla 3. Valores de los índices de vegetación de cada satélite y producción.

Finca	Fecha	Producción	Landsat 8		Sentinel 2		
			NDVI	EVI	NDVI	NDRE	EVI
Playon	28-dic-18	46,95			0,8234	0,7226	0,6457
	2-ene-19	43,58			0,8318	0,7061	0,6195
	1-feb-19	39,54			0,6277	0,5684	0,3952
	26-feb-19	69,65			0,8389	0,6810	0,7098
	8-mar-19	75,47			0,7393	0,5932	0,6012
	13-mar-19	71,62			0,8177	0,6963	0,7138
Pozo de piedra	6-mar-18	65,00	0,8000	0,2829			
	23-abr-18	63,75	0,7867	0,4484			
	28-dic-18	65,00			0,7053	0,5832	0,4420
	21-feb-19	60,25	0,7383	0,3468	0,5232	0,4865	0,2597
	2-abr-19	71,25			0,7418	0,5744	0,5925
	7-abr-19	73,75			0,6402	0,5102	0,4845
	10-abr-19	73,75	0,7821	0,3647			
	12-abr-19	73,75			0,7687	0,5753	0,4971
	22-abr-19	61,50			0,8391	0,8573	0,5844
	26-abr-19	61,50	0,8190	0,4064			
2-may-19	56,75			0,6054	0,4823	0,4580	
Sebastián	6-may-17	49,25	0,8632	0,5465			
	13-oct-17	46,00	0,6872	0,4523			
	6-mar-18	67,25	0,8496	0,4608			
	2-ene-19	52,25			0,8353	0,6916	0,6624
	4-ene-19	52,25	0,7453	0,4940			
	26-feb-19	58,25			0,7533	0,6136	0,6587
	7-abr-19	63,00			0,6943	0,5787	0,5839
	10-abr-19	63,00	0,8538	0,4822			
	22-abr-19	56,25			0,7534	0,6023	0,6628
	26-abr-19	56,25	0,8406	0,4464			
11-jul-19	52,50			0,6974	0,5794	0,5943	

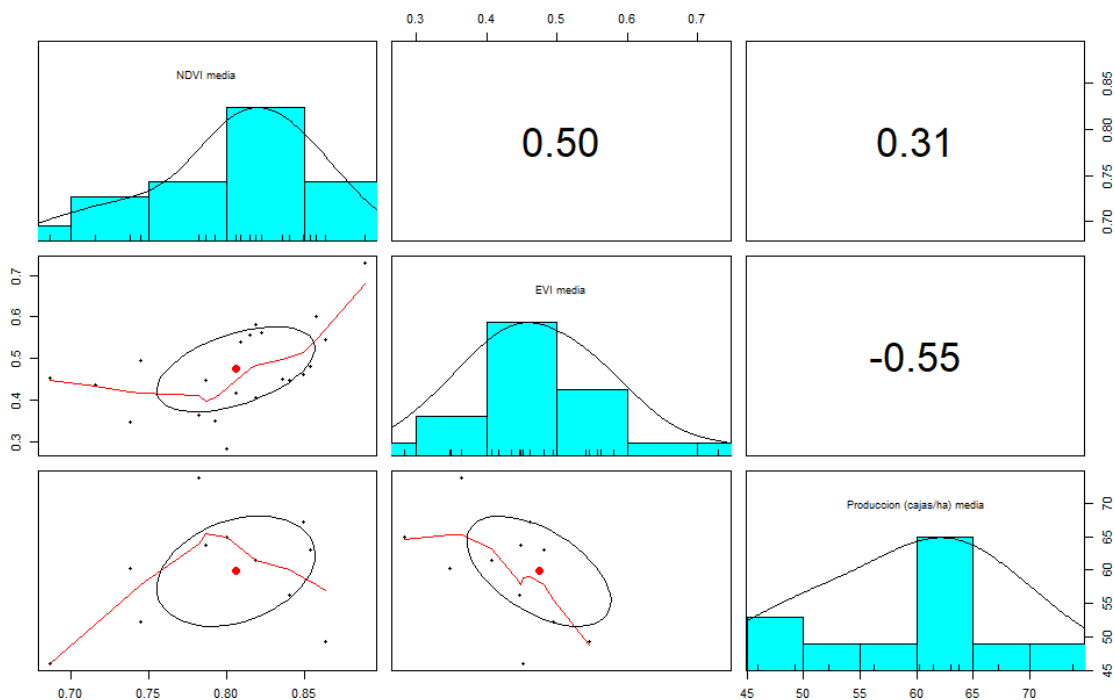
Una vez obtenidos los datos de las imágenes según el polígono de cada finca se realizó la correlación entre la producción y los índices de percepción remota (NDVI, NDRE, EVI) según cada satélite, se considera que son datos paramétricos tanto para Landsat 8 y Sentinel 2.

En la Figura 5 se muestran los valores de correlación entre los índices de vegetación obtenidos a partir de imágenes Landsat y la producción de banano en las fincas estudiadas.

Los resultados señalan que las correlaciones no son significativas. Por otro lado, y como era de esperar, sí se encontró una correlación significativa entre EVI y NDVI.

Además, se detalla gráficamente las correlaciones y los histogramas de cada índice de vegetación, para una mejor comprensión.

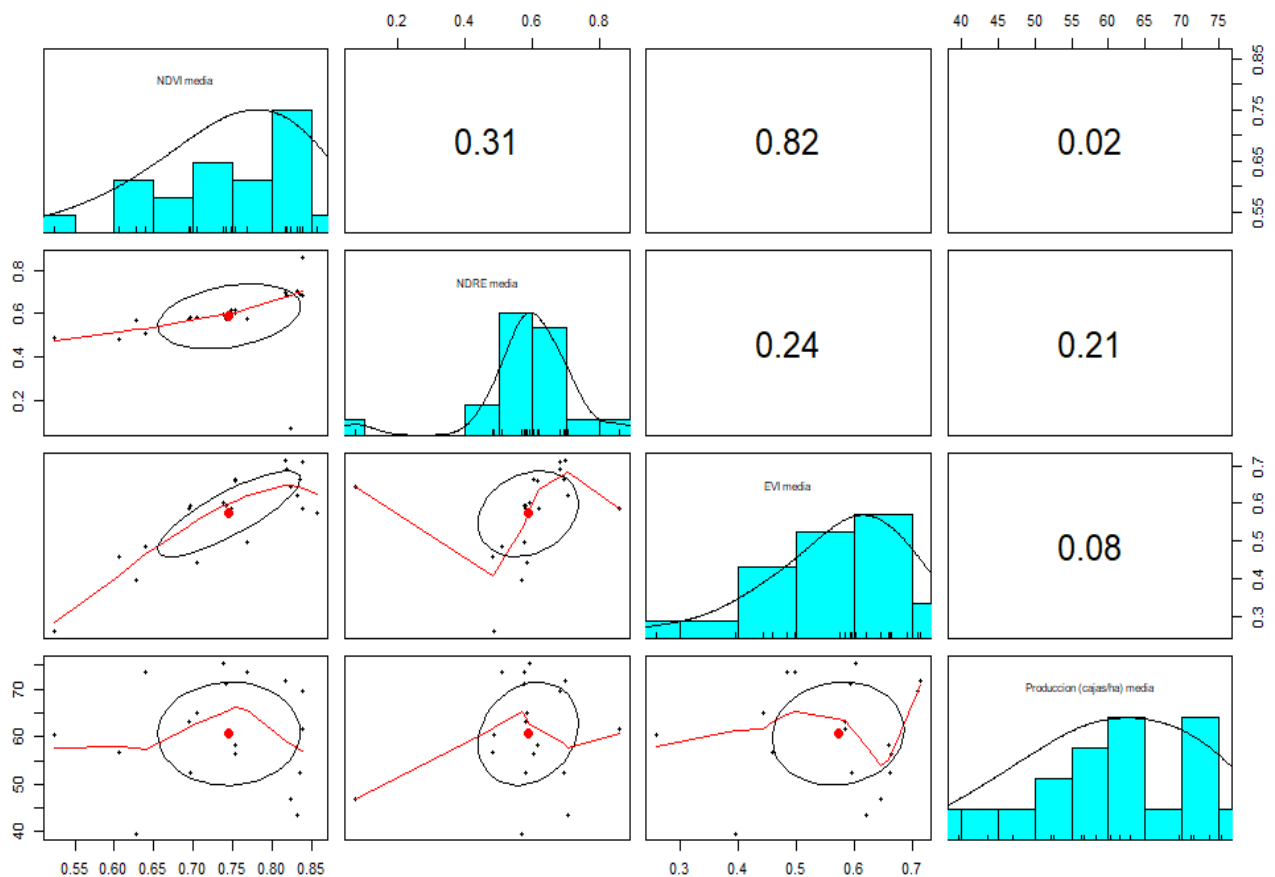
Figura 5. Correlación Pearson (r) entre la producción y los índices de vegetación para Landsat 8 con sus respectivos histogramas.



Nota: En esta figura se indica la correlación entre la producción y los índices de vegetación en el cultivo de banano para el Satélite Landsat 8 con una producción media estadísticamente.

Mientras que en la Figura 6 se presentan los valores de correlación entre los índices de vegetación de Sentinel 2 y la producción; donde no hay valores de significancia que evidencian una correlación entre estos dos factores.

Figura 6. Correlación de Pearson (r) entre la producción y los índices de vegetación para Sentinel 2 con sus respectivos histogramas.



Se recalca que según los resultados obtenidos no hay ninguna correlación entre los índices de vegetación y la producción de banano.

4.3. Comparación de imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 frente a los índices de vegetación

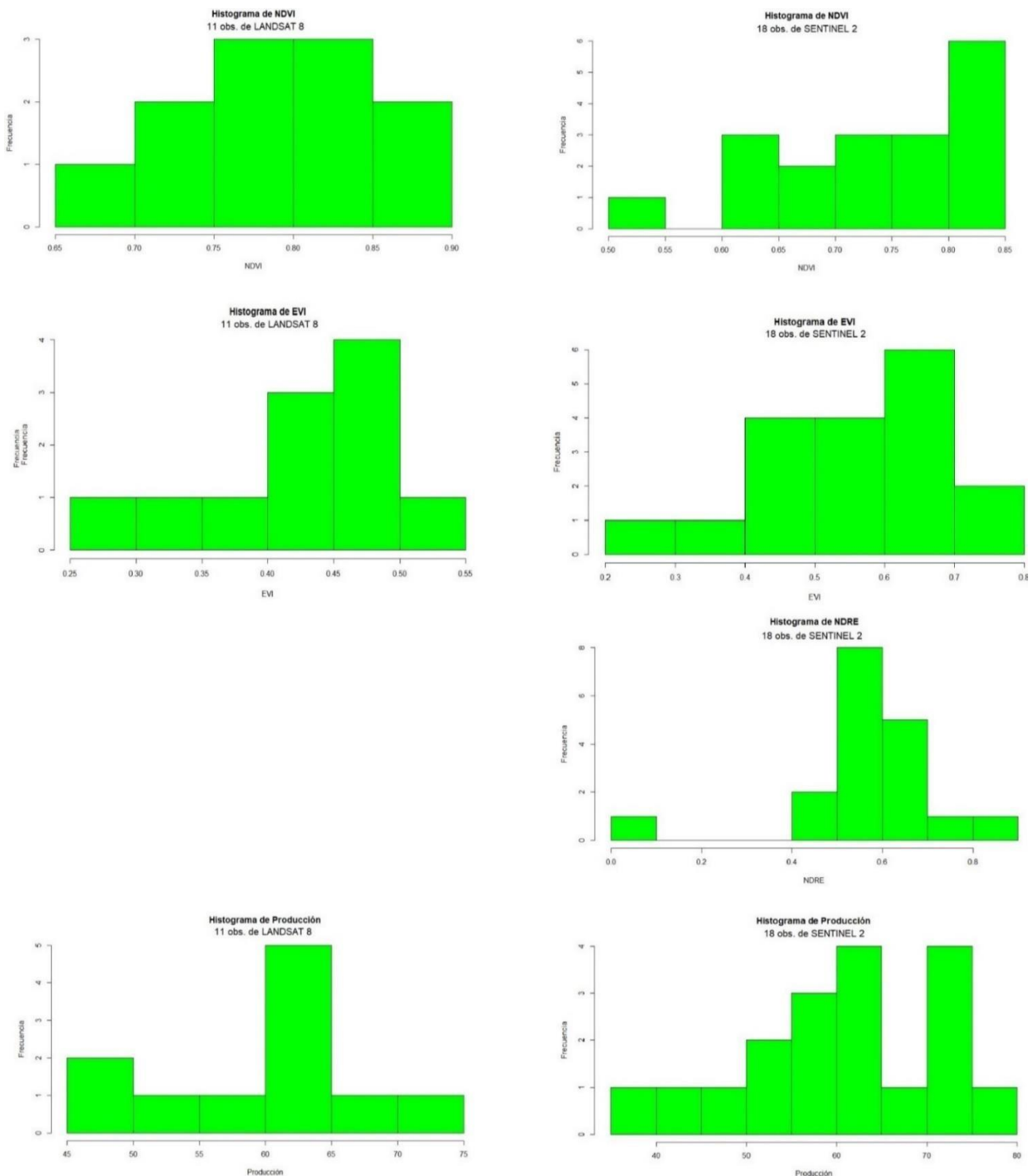
Se realizó la segmentación de los datos por satélite de cada imagen para observar si existen diferencias entre las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2 según cada vegetación. En la Figura 7, se muestran gráficos donde se realizó la comparación de las imágenes según cada satélite para determinar la diferencia y para establecer que índice de vegetación es el más idóneo al momento de establecer la producción del cultivo de banano.

Landsat proporciona múltiples imágenes de satélite separadas por tiempo. Una de las ventajas principales de Landsat es la de sus mapas por territorio. A diferencia de la imagen de Landsat 8, Sentinel 2 utiliza la banda que opera a lo largo del visible, el borde rojo; lo que admite una amplia gama de actividades que se pueden utilizar en el análisis de la vegetación.

UCUENCA

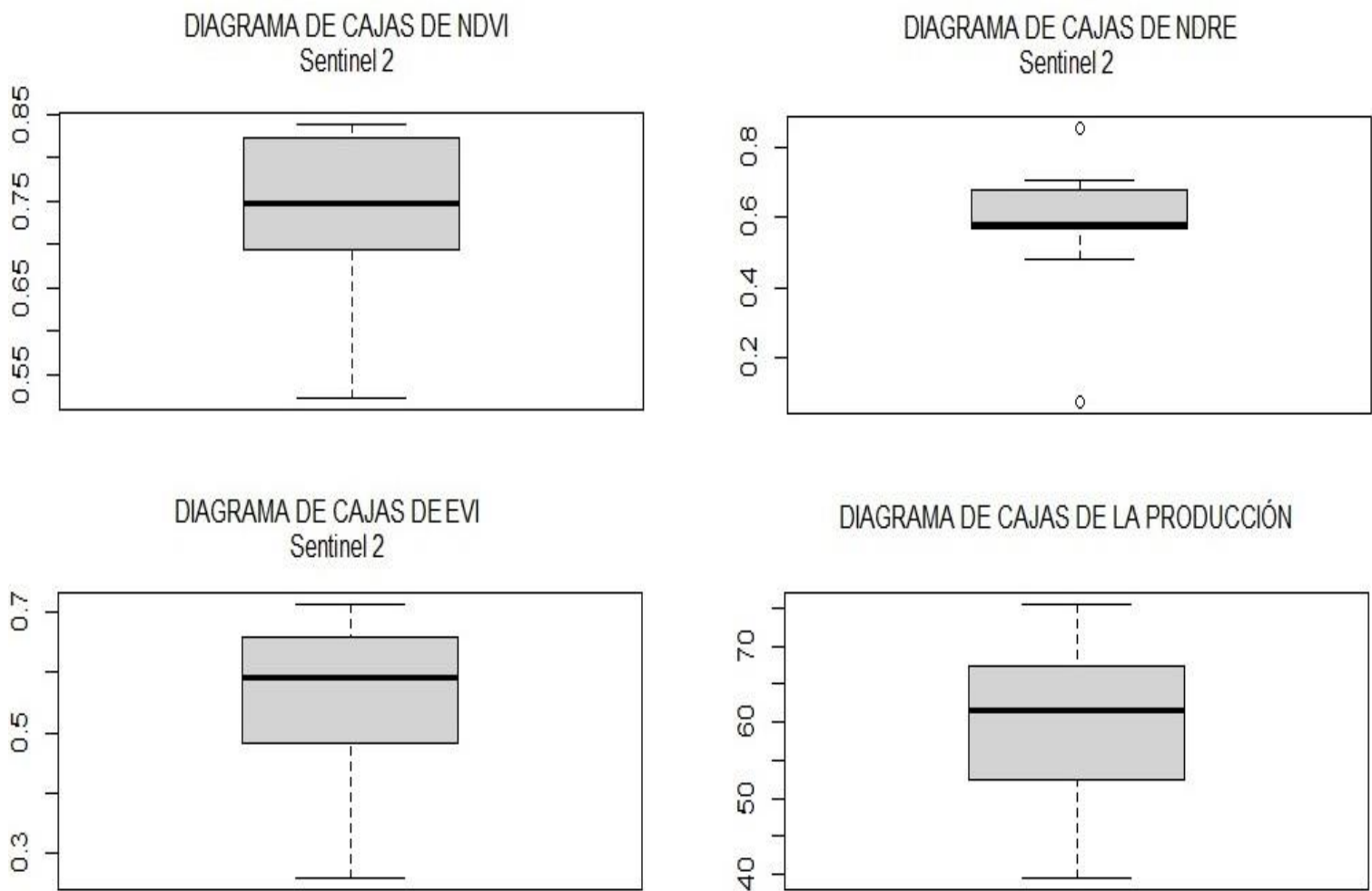
Además, es importante mencionar que la principal limitante para el uso de imágenes es la presencia de nubosidad. En el análisis de comparación de las dos herramientas satelitales utilizadas como son: Landsat 8 y Sentinel 2 se efectuaron diferentes tomas de imágenes, en distintas fechas debido al estado de nubosidad de la situación geográfica, por ende, hubo un desequilibrio de comparaciones en periodos de tiempo. Por lo tanto, el uso de estas herramientas lleva en sí diversas funciones en común, lo cual las hace interesantes para su uso a la hora de requerirlas para el monitoreo de vegetaciones.

Figura 7. Histogramas de los índices de vegetación del cultivo de banano de cada satélite.



Se aprecian los histogramas de los índices de percepción remota (NDVI, EVI y NDRE) tanto del satélite Landsat-8 como de Sentinel-2.

Figura 8. Diagramas de los índices de vegetación con la producción de Sentinel 2.



Nota: Se evalúan los diagramas de cajas entre los índices de percepción remota (NDVI, EVI y NDRE) con la producción del satélite Sentinel-2, recalando que de Landsat-8 por la escasez de datos no se puede analizar.

Mientras que en los diagramas de cajas indicados en la Figura 8 la mediana está cerca del centro de la caja en el gráfico de la figura de Sentinel 2 del NDVI nos indica que los valores de datos son simétricos a excepción del NDRE que los datos son sesgados.

Se pueden citar, algunos ejemplos de índices de vegetación en los que se ha utilizado imágenes de percepción remota para evaluar los cultivos; así, podemos mencionar el estudio de Liu et al., (2019) que concluyen que todos los factores utilizados en el estudio mencionado ayudan a identificar el estrés en ciertos cultivos, además, recomiendan se siga utilizando el NDRE, por lo que, se corrobora con este estudio ya que los índices de vegetación nos ayuda a evaluar ciertos factores como son la clorofila de las hojas que afectan directamente a la producción del cultivo.

Mientras que, con el estudio de Escobar, (2015) en el cultivo de banano, indica que en la etapa productiva los niveles de nitrógeno y clorofila no se identifican bien debido a que todo va destinado al llenado del racimo; un factor que en este estudio no se tuvo en cuenta y por ello no se encontró la correlación correspondiente entre la producción y los índices de vegetación.

En cuanto a estudios similares en el cultivo de banano con el uso de imágenes satelitales e índices de percepción remota, se tiene que las imágenes Landsat 8 han sido utilizadas para evaluar índices de vegetación, así tenemos el estudio de Mora y Cerdas, (2015) realizado en Costa Rica, en el cual, consideraron que la clasificación del tipo de estrés no es tan selectiva como se desearía mediante índices de vegetación, ya que puede ser causado por deficiencias hídricas, nutricionales, presencia de enfermedades o combinación de las anteriores. En este estudio se muestran que los índices se ven afectados directamente por otros factores como son el riego, temperatura, entre otros.

Al interpretar los resultados de Solis et al., (2020) se concluye que los índices de vegetación son indicadores adecuados del contenido de clorofila de forma indirecta, a nivel de hojas de café de la especie *Coffea arabica*; recalando para este estudio que hay que tener en cuenta la masa foliar para realizar índices de vegetación.

Conclusiones

A partir de este estudio se ha encontrado que el uso de imágenes satelitales es importante al momento de tomar decisiones sobre el cultivo; por ello, se han revisado diversos trabajos realizados en cultivos de banano, arroz, maíz, maní, soja, etc., que con la ayuda de índices de percepción remota han podido determinar las mejores estrategias para sus cultivos, destacando que los estudios encontrados del cultivo de banano no están relacionados directamente en la producción y rendimiento del mismo.

Además, se indica que el índice de vegetación EVI el cual se detalla en la Tabla 3 muestra una mejor clasificación de los objetos presentes en cada imagen satelital; mientras que, los índices NDRE y NDVI para el cultivo de banano no muestran incompatibilidades en las pruebas realizadas; mediante las imágenes satélites Sentinel 2 que fueron óptimas al realizar este estudio.

También, se tuvieron limitaciones para determinar la producción del cultivo debido al alto porcentaje de nubosidad por la ubicación geográfica de la zona de estudio. Adicional a esto, no se pudo obtener imágenes Landsat 8 para todos los meses en los años de estudio por los inconvenientes anteriormente mencionados, las pocas imágenes que se obtuvo presentaron dichas limitaciones, pero en un menor porcentaje delimitando el área del polígono.

Finalmente, se puede concluir que el uso de imágenes satelitales tanto Landsat 8 como Sentinel 2 para la zona de estudio de *Musa paradisiaca* no se encontró ninguna correlación entre los índices de vegetación con la producción. Recalcando que, por las limitaciones descritas (adicional que, el racimo del cultivo está por debajo de las hojas y estas no permiten diferenciar el racimo de las hojas) al momento de realizar los distintos índices de vegetación y por una base de datos muy pequeña no se obtuvieron los resultados esperados.

Recomendaciones

En base a la investigación realizada se recomienda lo siguiente:

- Realizar investigaciones sobre el cultivo de banano utilizando índices de vegetación en áreas donde las restricciones sean menos significativas, por ejemplo, una menor incidencia de nubosidad. Estos estudios podrían incluir análisis de correlación para entender de qué manera la temperatura y la precipitación afectan la tasa de emisión de hojas, ya que esta variable es fundamental para la productividad del banano, ya que influye en la duración del ciclo vegetativo y la producción de racimos.
- Realizar investigaciones a nivel de parcela para obtener una cantidad mayor de información sobre la vegetación. Esto permitirá comparar tanto la producción como la productividad en un contexto más detallado y específico.
- Probar el análisis de índices de percepción remota para los satélites que tengan disponibilidad de imágenes para nuestro entorno.
- Realizar más estudios que relacionen los factores que afectan directamente a la producción del banano y más índices de percepción remota, para determinar la predicción de estos componentes adicionales que afectan a la agricultura en general.

Referencias

- Balbontín, C., Odi, M., y Selles, G. 2019. Teledetección: apoyando a la agricultura desde el cielo. Tierra adentro: especial gestión hídrica, 29-31.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67624/NR41563.pdf?sequence=8&isAllowed=y> (20 de septiembre de 2022).
- Bastidas, G., y Naranjo, E. 2022. Desarrollo de una metodología para la identificación de la sintomatología de fusarium raza 1 en banano mediante el uso de sensores aéreos no tripulados. Universidad de las Fuerzas Armadas.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/28970/1/T-ESPE-050998.pdf> (24 de septiembre de 2022).
- Bravo, N. 2017. Teledetección Espacial Landsat, Sentinel 2, Aster L1T y MODIS. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA. https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf (27 de marzo de 2019).
- Cáceres, N. 2017. Generación de curvas espectrales de vegetación, suelo y agua, a partir del análisis de imágenes multiespectrales, como herramienta indirecta de evaluación del estado del Humedal “El Ocho” y páramo de Letras. Universidad Católica de Manizales.
<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2009/1/Nicol%20Andrea%20Cetina.pdf> (4 de mayo de 2020).
- Camacho, A., Vargas, C., Rojas, F., Castillo, S., y Arguello, H. 2015. Aplicaciones y retos del sensado remoto hiperespectral en la geología colombiana. Facultad de Ingeniería 23(2015): 17-29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5191731>.
- Centanaro, P., y Nava, J. 2021. Nudos críticos de procesos gerenciales en unidades productivas de banano, Milagro, Ecuador. Revista CEA 7(13).
<https://revistas.itm.edu.co/index.php/revista-cea/article/view/1554> (10 de junio de 2022).
- Copernicus. 2018. El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial: El componente espacio Copernicus. El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial.
https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf

- Corporación Financiera Nacional B.P. (2021). Ficha sectorial de banano y plátano. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Banano.pdf> (10 de junio de 2022).
- Dev, T., y Yang I. 2015. Exploring Landsat 8. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research* 4: 4-10. https://www.researchgate.net/profile/Tri-Acharya/publication/311901147_Exploring_Landsat_8/links/589c0de6458515e5f4549e58/Exploring-Landsat-8.pdf (16 de mayo de 2023).
- El comercio. 2019. Los envíos de banano crecieron un 4% en el primer semestre de 2019. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/banano-exportaciones-crecimiento-fusarium-mag.html> (26 de julio de 2020).
- Eos. 2021. Landsat 8: imágenes satelitales, descripción general y características. *Landsat-8*. <https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/> (19 de septiembre de 2022).
- Esa. 2012. Sentinel-2. https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/s2_sp-1322_2.pdf.
- Esa. 2015. Sentinel 2. https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2 (19 de septiembre de 2022).
- Escobar, O. 2015. Respuestas espectrales a la fertilización con nitrógeno y potasio en el cultivo del banano (*Musa AAA simmonds*), caso municipio Zona Bananera. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/56137/oscarfradiqueescobarparado.2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56137> (25 de agosto de 2020).
- Fan, H., Xiaohua, F., Zheng, Z., y Qiong W. 2015. Phenology-Based Vegetation Index Differencing for Mapping of Rubber Plantations Using Landsat OLI Data. *MDPI. Remote Sensing* 7(5): 6041-58. <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/5/6041> (20 de septiembre de 2022).
- Fernández, P., Rubio, A., Escudero, R., Sánchez, B., Cáceres, J., Calero, R. 2021. La digitalización del campo. Uso de teledetección y nuevas tecnologías como herramientas sostenibles en la gestión de regadíos modernizados. *Proyectos I+D+I: OPTIREG y DEMETER*. Universidad Politécnica de Cartagena. <http://hdl.handle.net/10317/10111> (19 de septiembre de 2022).

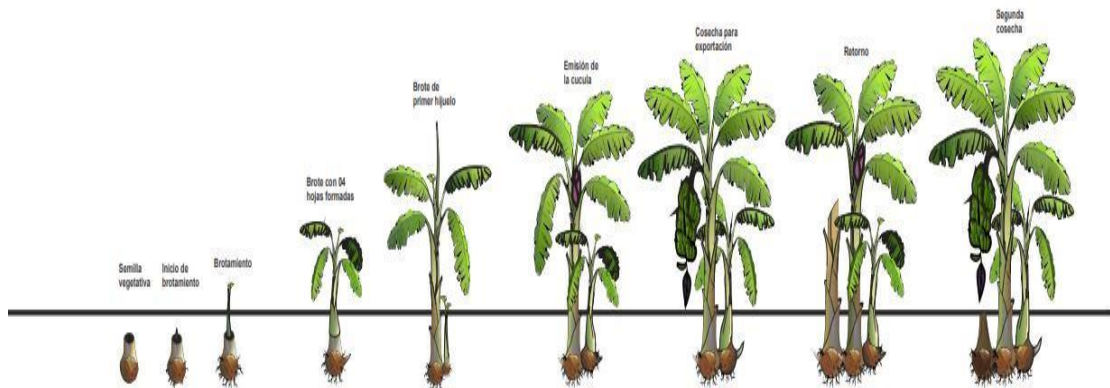
- Fiant, A., Meriggiola, S., Pérez, B., Farias, S. 2019. Correlación entre índices de vegetación y rendimiento de maní a escala regional en Córdoba. Córdoba. https://inta.gob.ar/sites/default/files/correlacion_entre_indices_de_vegetacion_y_rendimiento_de_mani_a_escal_a_regional_en_cordoba.pdf (10 de agosto de 2020).
- García, J. 2015. Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. Universidad Complutense de Madrid. 78. <https://www.udocz.com/apuntes/493701/tfm-juan-diaz-cervignon> (19 de septiembre de 2022).
- Guerrón, A., Viera, W., Campaña, D., Vásquez, L. y Montufar, C. 2022. Aplicación de índices vegetales (banda roja e infrarrojo cercano) en plantaciones de aguacate. Siembra 9(1): e3371. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/3371> (24 de septiembre de 2022).
- Guevara, B. 2020. Propuesta de optimización para dosificación de fertilizantes en un cultivo de banano Musa X paradisiaca, usando herramientas geomáticas, en la Hacienda “Franz Mathew” ubicada en el Cantón Balao, Provincia del Guayas. Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48718> (5 de junio de 2020).
- Guzmán, González, Sandoval, y Calvo. 2022. Uso de sensores remotos en la agricultura: aplicaciones en el cultivo del banano. Agronomía Mesoamericana: 48279. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/48279/52376> (24 de septiembre de 2022).
- Intriago, E. 2022. Estudio comparativo de dos métodos de detección de cultivos de cacao, banano y palma en la zona oeste de la provincia de los Ríos, a partir de las imágenes satelitales landsat-8 y sentinel 2. Quevedo: UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6830> (14 de abril de 2023).
- Liu, M., Wang, T., Skidmore, A., Liu, X., Li, M. Identifying rice stress on a regional scale from multi-temporal satellite images using a Bayesian method. Environmental Pollution 247: 488-98. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118339812> (23 de septiembre de 2020).
- MAG. 2013. Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra de Costa Rica / Albán Rosales Ibarra.

- Instituto de innovación y transferencia de tecnología agropecuaria 62.
<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/U40-10538.pdf>
- Marcelino, L., González, V., y Ríos, D. 2012. El cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Panamá. Instituto de investigación Agropecuaria de Panamá.
[https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/05B386D2-5BCD-A52D-6097-F853803CC619/attachments/Cultivo de platanomusa paradisiaca.pdf](https://chm.cbd.int/api/v2013/documents/05B386D2-5BCD-A52D-6097-F853803CC619/attachments/Cultivo%20de%20platanomusa%20paradisiaca.pdf)
- Martínez, O., Lapo, B., Pérez, J., Zambrano, C. y Maza, F. 2015. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. Revista colombiana de Química. <https://www.redalyc.org/pdf/3090/309044127003.pdf> (3 de octubre de 2020).
- Mora, A., y Cerdas, C. 2015. Clasificación de nivel de estrés en cultivos de banano (*Musa* sp.) con técnicas de teledetección y SIG, en la zona de Pacuarito de Siquirres.
https://www.researchgate.net/profile/Arnold_Viales/publication/301675107_CLASIFICACION_DE_NIVEL_DE_ESTRES_EN_CULTIVOS_DE_BANANO_MUSA_SPP_CON_TECNICAS_DE_TELEDETECCION_Y_SIG_EN_LA_ZONA_DE_PACUARITO_DE_SQUIRRES/links/5720eba508aefa6488a050a0/CLASIFICACION-DE-NIVEL-DE-ESTRES-EN-CULTIVOS-DE-BANANO-MUSA-SPP-CON-TECNICAS-DE-TELEDETECCION-Y-SIG-EN-LA-ZONA-DE-PACUARITO-DE-SQUIRRES.pdf (3 de agosto de 2020).
- Olaya, V. 2014. Sistemas de Información Geográfica.
https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf (27 de julio de 2019).
- Ovando, G., De la Casa, A., Díaz, G., Díaz, P., Bressanini, L. y Miranda, C. 2021. Desempeño de diferentes índices de vegetación de Sentinel-2 para estimar el rendimiento de soja en agricultura de precisión. *AgriScientia* 38(2): 1-12.
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/25148> (4 de julio de 2022).
- Pérez, C., y Muñoz, Á. 2006. Teledetección: Nociones y Aplicaciones. Salamanca. 143.
[https://books.google.com.ec/books?id=SfrGxbO1DT0C&pg=PA143&dq=el+indice+de+vegetacion+contienen+más+del+90%25+de+la+información+espectral+de+la+cubierta+vegetal.&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjs84LlurrsAhUqp1kKHxPBZMQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=el índice de v](https://books.google.com.ec/books?id=SfrGxbO1DT0C&pg=PA143&dq=el+indice+de+vegetacion+contienen+más+del+90%25+de+la+información+espectral+de+la+cubierta+vegetal.&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjs84LlurrsAhUqp1kKHxPBZMQ6AEwAHoECAQQAg#v=onepage&q=el%20índice%20de%20v) (29 de junio de 2020).

- Ponce, C. 2017. Los beneficios de aplicar la Agricultura de precisión. AGRORUM.
<https://www.agrorum.net/blog/blog-1/post/los-beneficios-de-aplicar-agricultura-de-precision-23> (27 de enero de 2019).
- Sergieieva, K. 2022. Índices de vegetación y su aplicación en la agricultura digital. EOS.
<https://eos.com/es/blog/indices-de-vegetacion/> (20 de septiembre de 2022).
- Solis, A., Revelo, D., Campo, D. y Gaviria, C. 2020. Correlación del contenido de clorofila foliar de la especie Coffea arabica con índices espectrales en imágenes. Scielo.12.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v19n2/1692-3561-bsaa-19-02-57.pdf> (14 de junio de 2023).
- Taylor, M. 2021. Landsat 8 | Ciencia Landsat. Nasa.
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/> (16 de mayo de 2023).
- Tipantuña, L. 2017. Propuesta metodológica para el análisis de la respuesta espectral en plantaciones de banano a la presencia de plagas y enfermedades, caso de estudio: cantón San Jacinto de Yaguachi, Sector Tres Postes, Provincia del Guayas. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14442/Propuesta%2520metodol%25C3%25B3gica%2520para%2520el%2520an%25C3%25A1lisis%2520de%2520la%2520respuesta%2520espectral%2520en%2520plantaciones%2520de%2520banano%2520a%2520la%2520presencia%2520de%252> (5 de julio de 2020).
- Usgs. 2023. Landsat 8: Servicio Geológico de EE. UU. Landsat 8.
<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> (16 de mayo de 2023).
- Vargas, A., Watler, W., Morales, M. y Vignola, R. 2017. Ficha técnica. Cultivo de banano. Costa Rica. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8205.pdf> (20 de julio de 2020).

Anexos

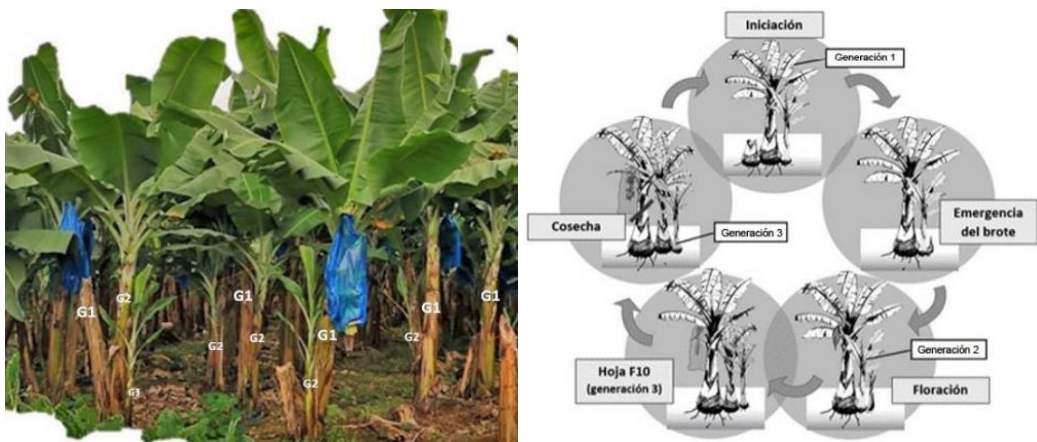
ANEXO A. Figura 9. Fenología del cultivo de *Musa Paradisiaca*.



De Saavedra, (2017).

Nota: La imagen representa el cultivo desde su estado vegetativo hasta el estado productivo recalcando una representación esquemática de desarrollo del hijo con referencia a la planta madre.

ANEXO B. Figura 10. Asincronía en el cultivo del banano y etapas fenológicas de una unidad productiva del mismo.



De Guzmán et al., (2022).

Nota: La imagen de la izquierda representa la asincronía del cultivo mientras que la de la derecha recalca la fenología de una unidad productiva del banano.

ANEXO C. Tabla 4. *Resolución espacial de las bandas de Sentinel 2.*

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (μm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 – coastal aerosol	0.443	60
Banda 2 - azul	0.490	10
Banda 3 – verde	0.560	10
Banda 4 – rojo	0.665	10
Banda 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Banda 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Banda 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Banda 8 – NIR	0.842	10
Banda 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Banda 9 – Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 – SWIR – cirros	1.375	60
Banda 11 – SWIR	1.610	20
Banda 12 - SWIR	2.190	20

Nota: Se detalla las diferentes resoluciones espectrales que se adquieren en las 13 bandas de Copernicus, (2018).

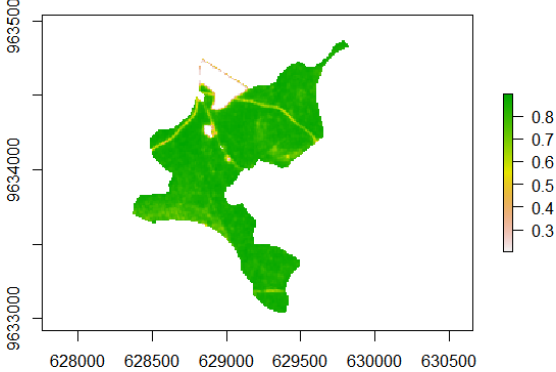
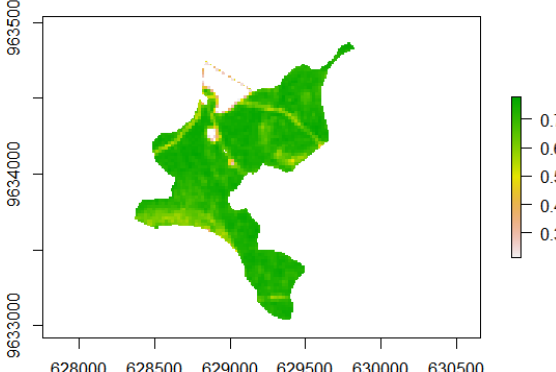
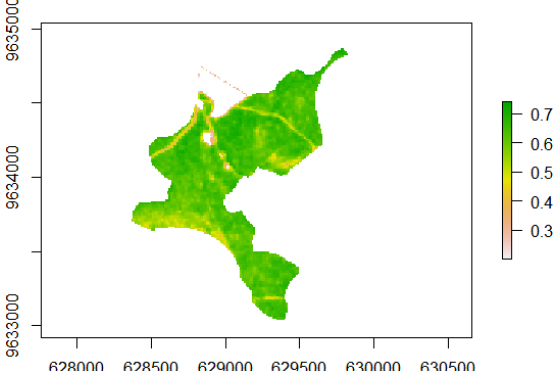
ANEXO D. Tabla 5. Resolución espacial de las bandas de Landsat 8.

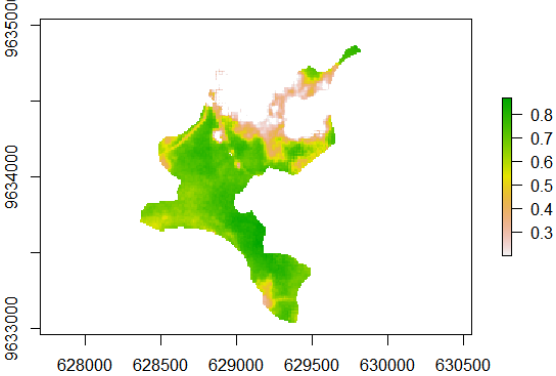
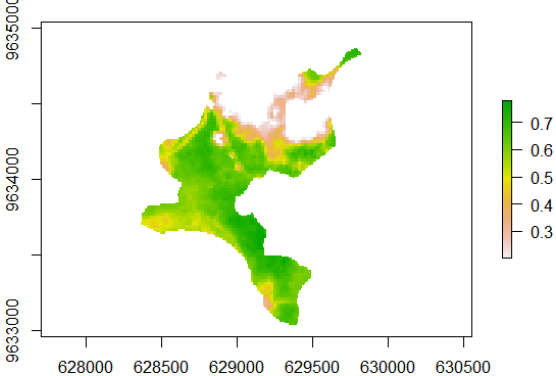
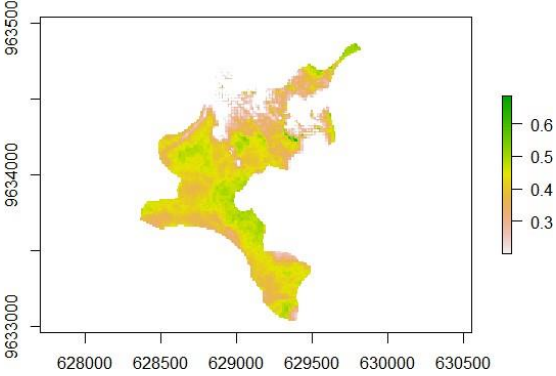
Landsat-8 OLI and TIRS Bands (μm)		
30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

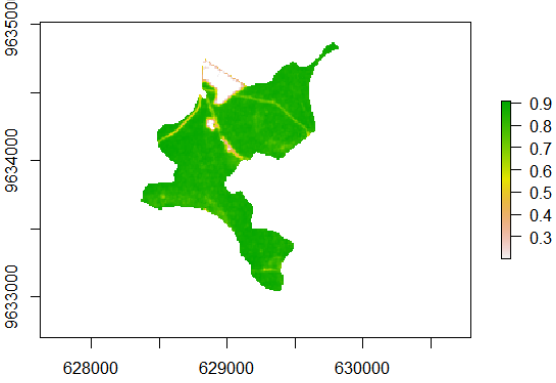
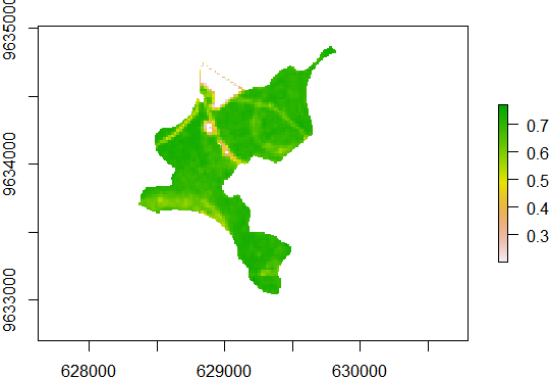
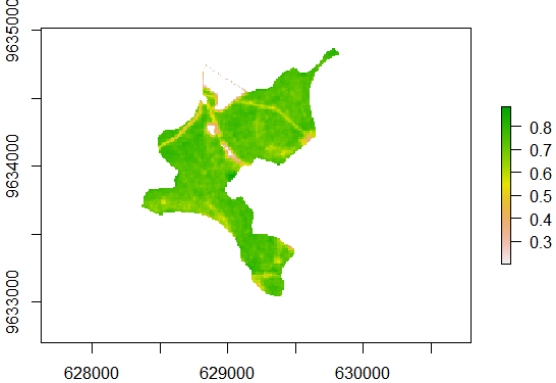
Nota: Se especifica las diferentes resoluciones espectrales de Landsat 8.
De Taylor, (2021).

ANEXO E. Tabla 6. *Imágenes con su respectivo índice de vegetación y satélite para la posterior comparación.*

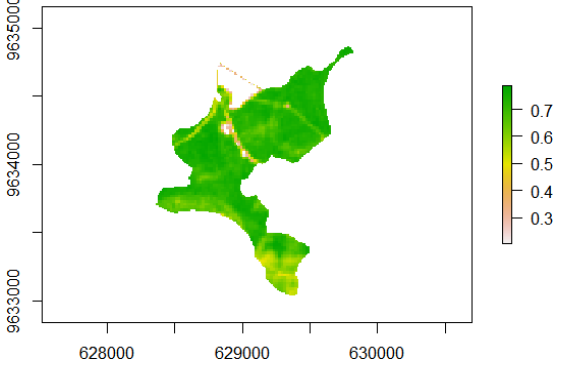
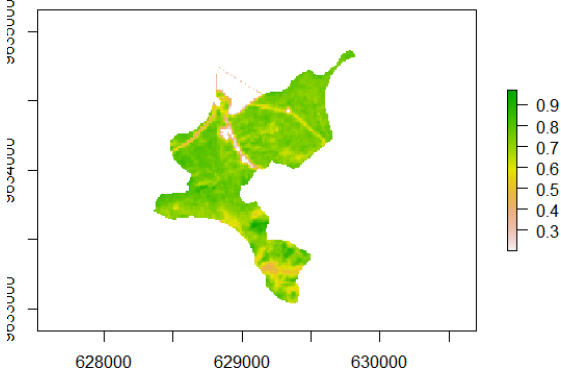
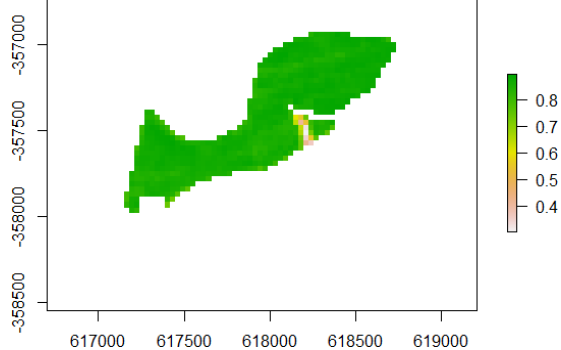
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
Playon			
NDVI	28-12-2018	Sentinel-2	
NDRE	28-12-2018	Sentinel-2	
EVI	28-12-2018	Sentinel-2	

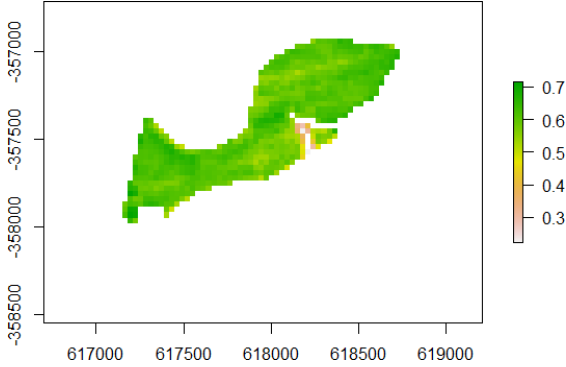
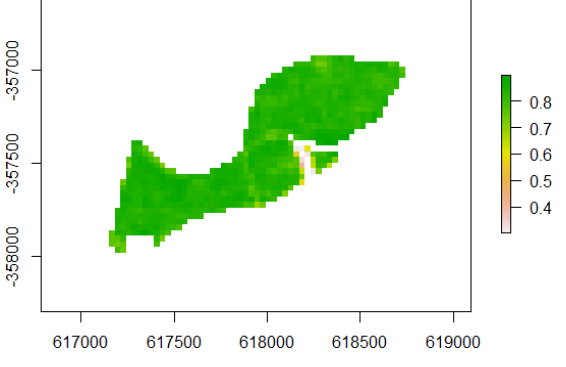
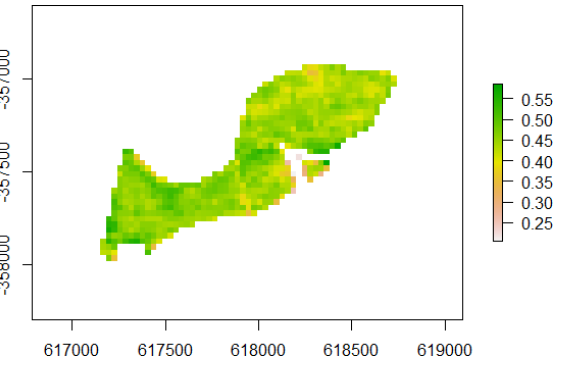
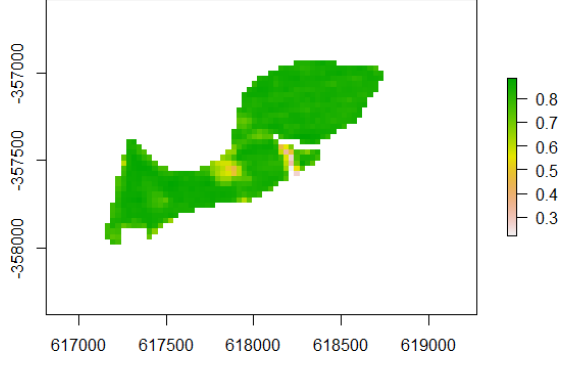
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	02-01-2019	Sentinel-2	
NDRE	02-01-2019	Sentinel-2	
EVI	02-01-2019	Sentinel-2	

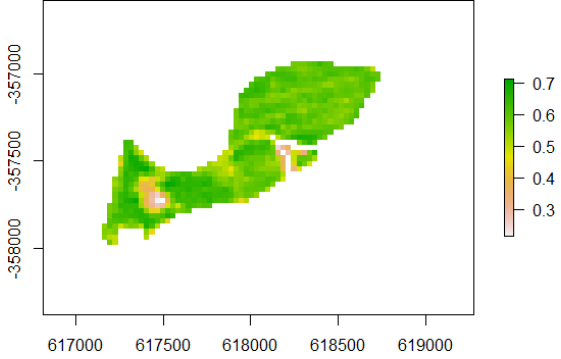
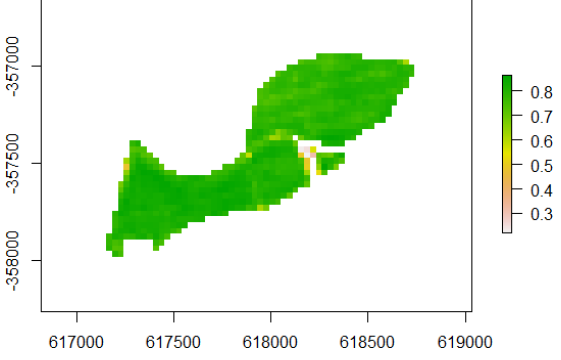
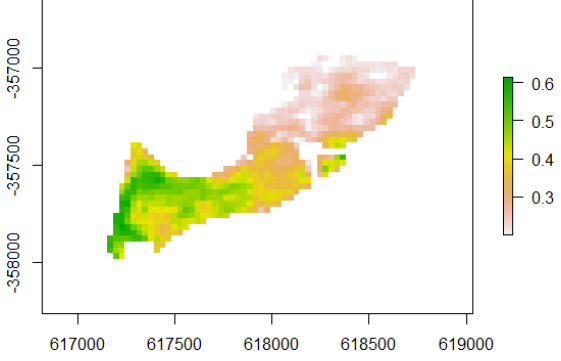
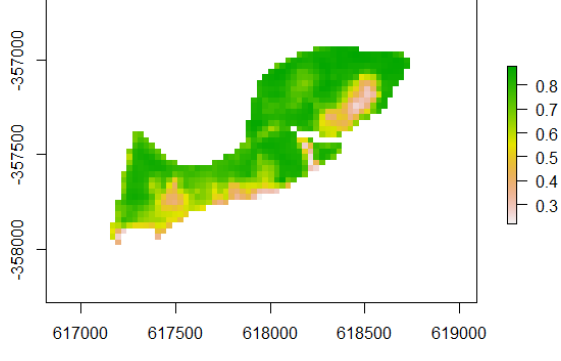
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	01-02-2019	Sentinel-2	
NDRE	01-02-2019	Sentinel-2	
EVI	01-02-2019	Sentinel-2	

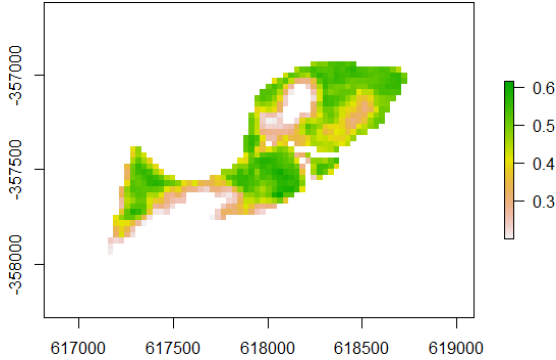
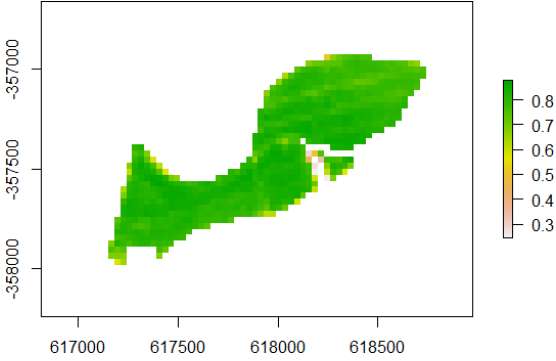
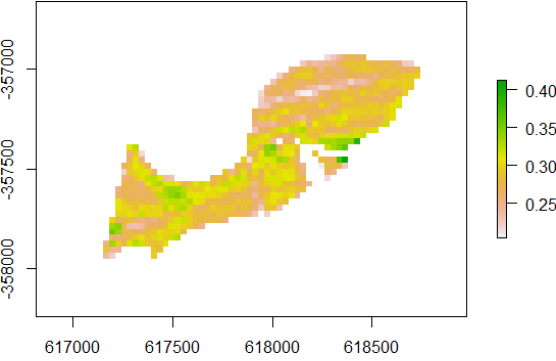
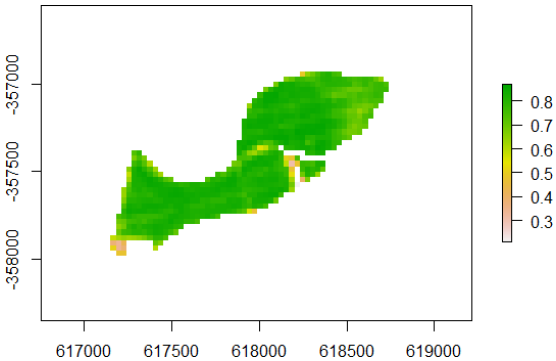
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	26-02-2019	Sentinel-2	
NDRE	26-02-2019	Sentinel-2	
EVI	26-02-2019	Sentinel-2	

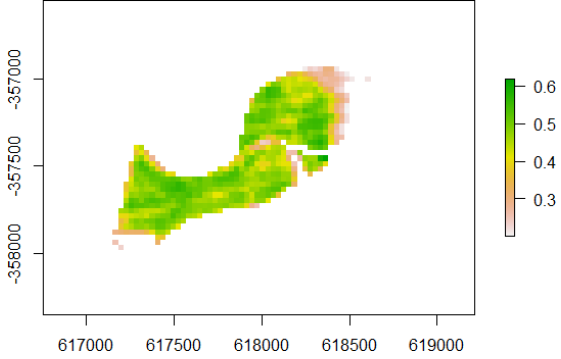
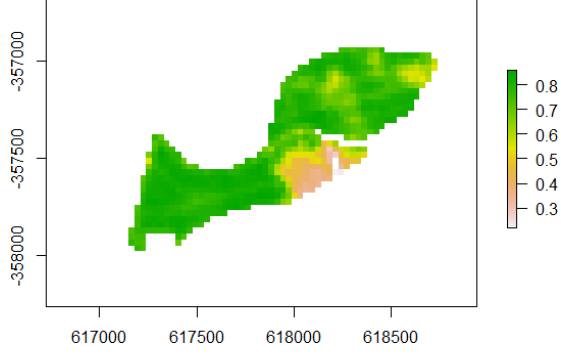
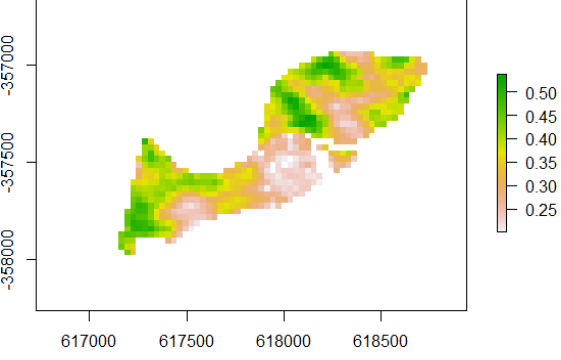
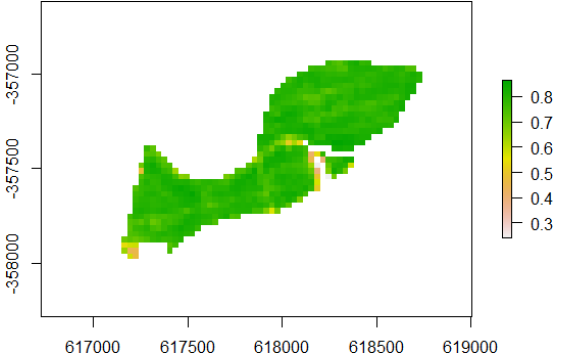
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	08-03-2019	Sentinel-2	
NDRE	08-03-2019	Sentinel-2	
EVI	08-03-2019	Sentinel-2	
NDVI	13-03-2019	Sentinel-2	

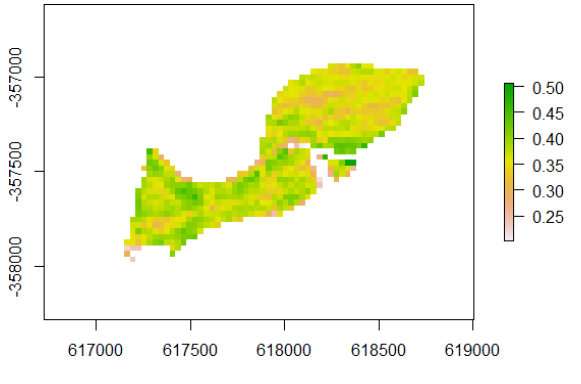
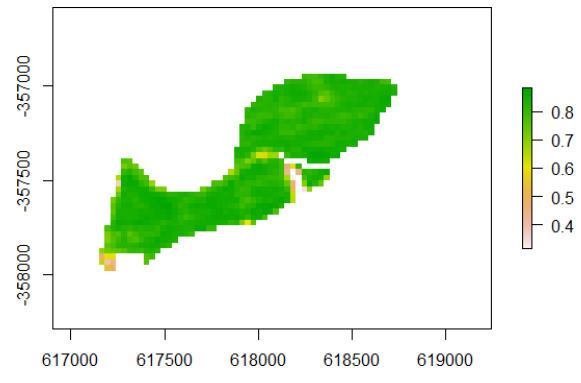
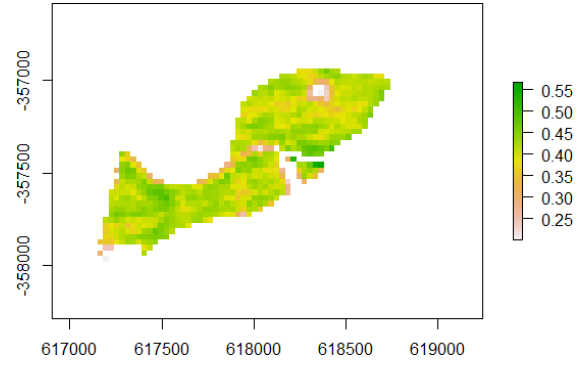
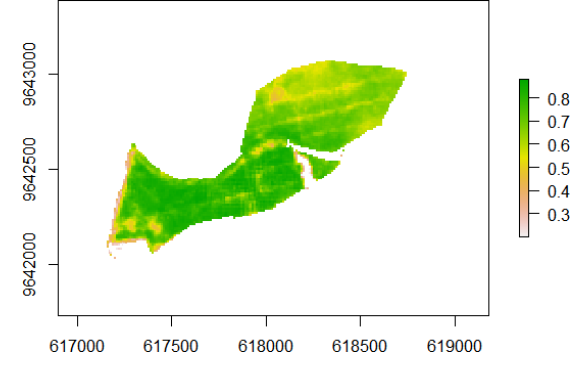
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDRE	13-03-2019	Sentinel-2	
EVI	13-03-2019	Sentinel-2	
Pozo de Piedra			
NDVI	15-02-2017	Landsat-8	

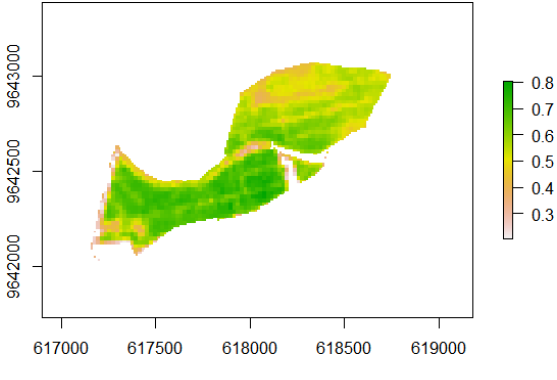
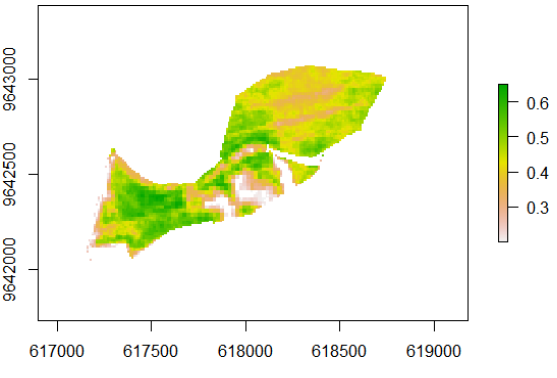
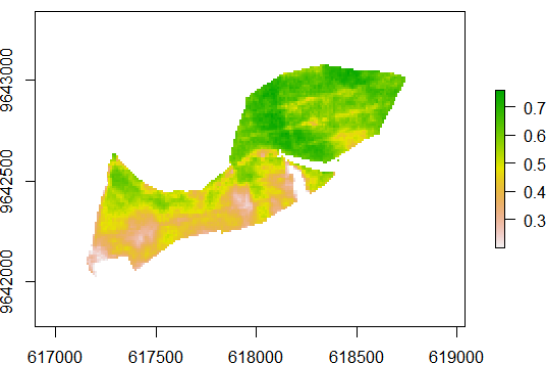
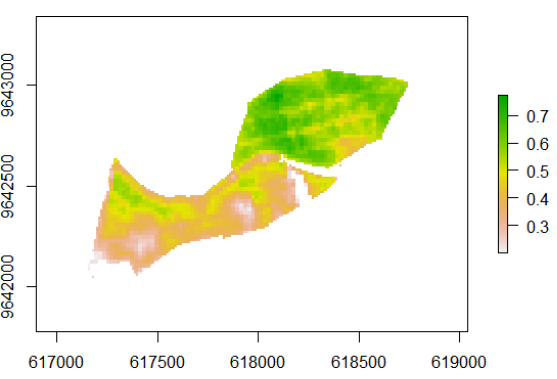
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	15-02-2017	Landsat-8	
NDVI	19-03-2017	Landsat-8	
EVI	19-03-2017	Landsat-8	
NDVI	20-04-2017	Landsat-8	

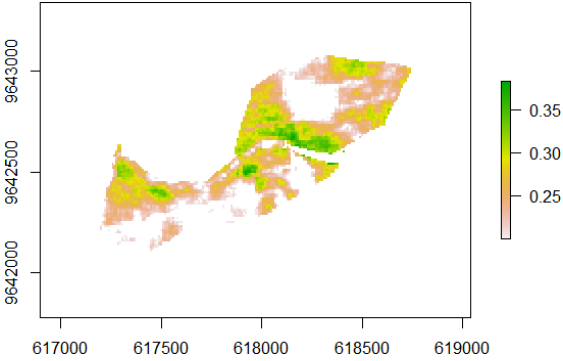
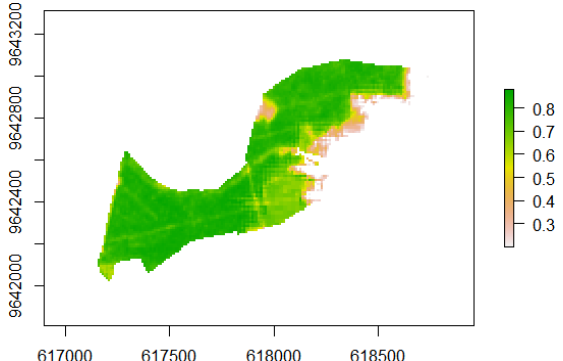
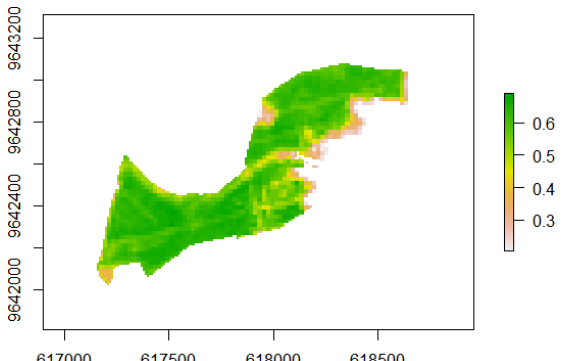
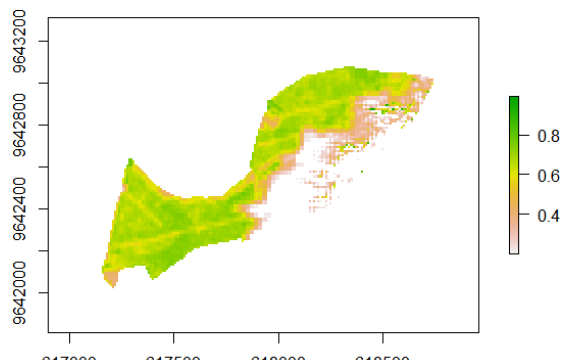
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	20-04-2017	Landsat-8	
NDVI	06-05-2017	Landsat-8	
EVI	06-05-2017	Landsat-8	
NDVI	13-10-2017	Landsat-8	

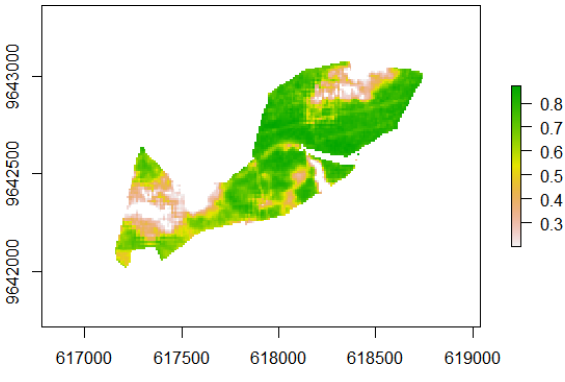
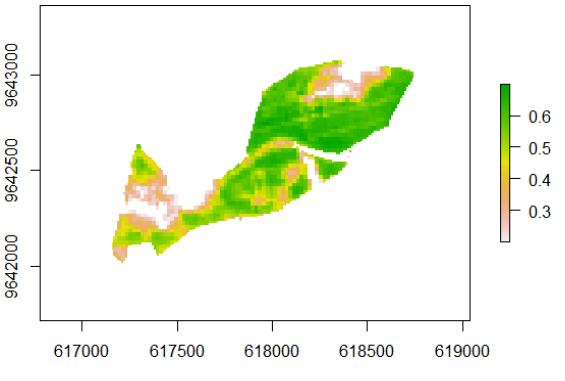
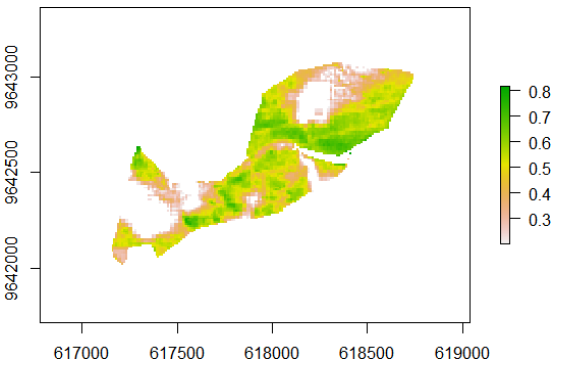
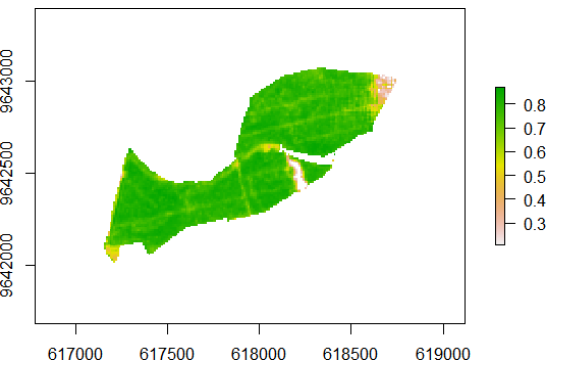
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	13-10-2017	Landsat-8	
NDVI	06-03-2018	Landsat-8	
EVI	06-03-2018	Landsat-8	
NDVI	23-04-2018	Landsat-8	

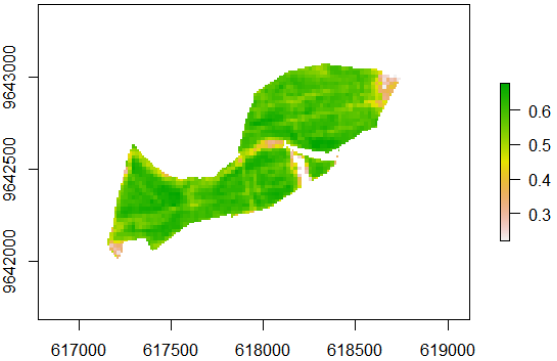
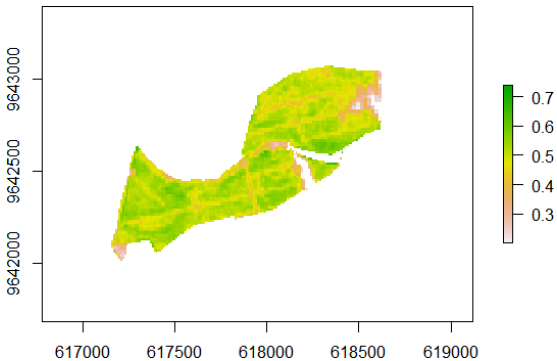
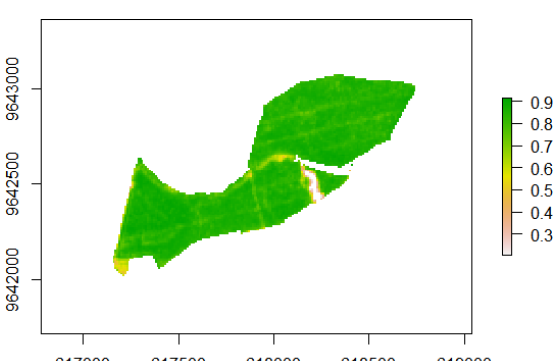
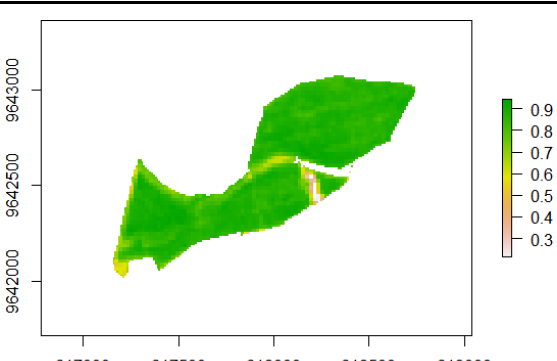
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	23-04-2018	Landsat-8	
NDVI	21-02-2019	Landsat-8	
EVI	21-02-2019	Landsat-8	
NDVI	10-04-2019	Landsat-8	

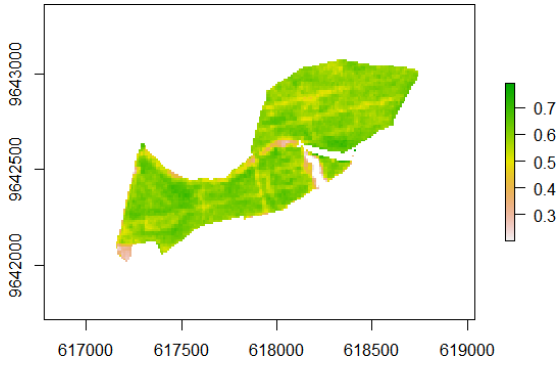
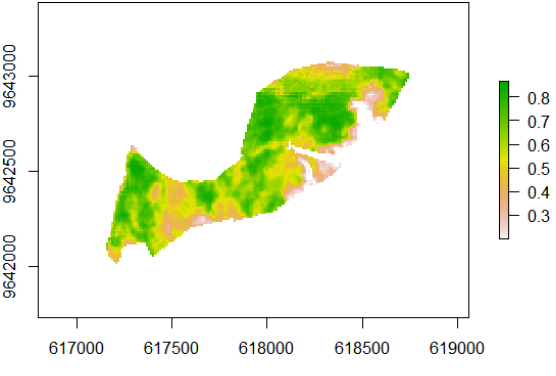
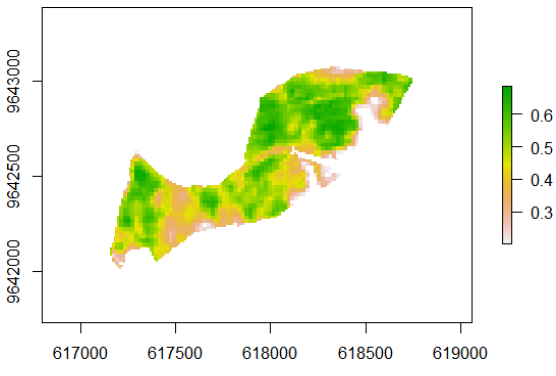
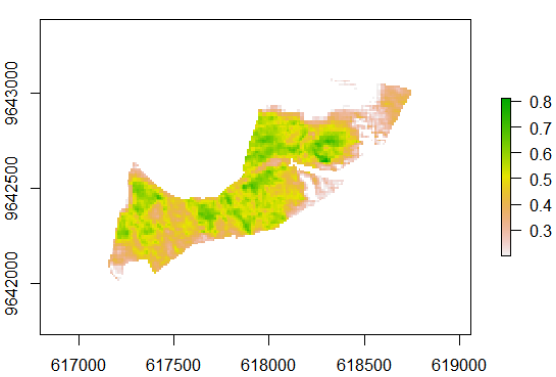
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	10-04-2019	Landsat-8	
NDVI	26-04-2019	Landsat-8	
EVI	26-04-2019	Landsat-8	
NDVI	28-12-2018	Sentinel-2	

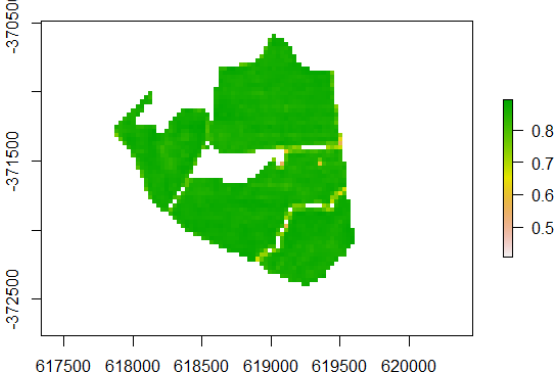
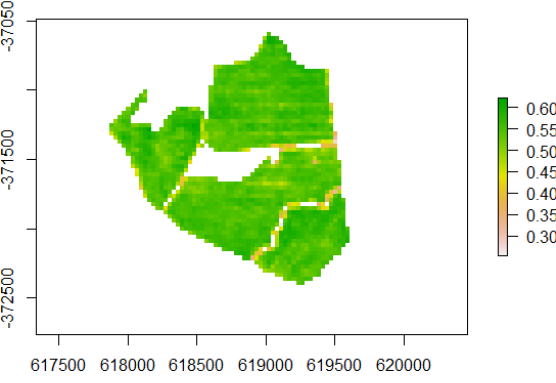
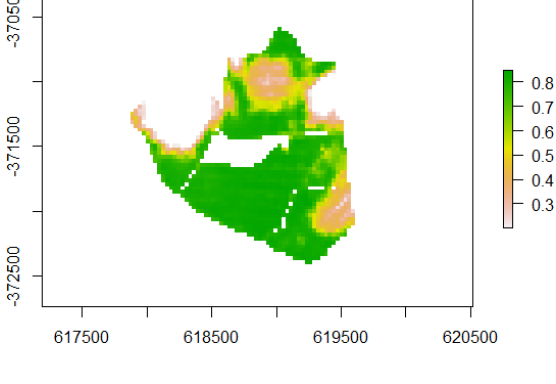
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDRE	28-12-2018	Sentinel-2	
EVI	28-12-2018	Sentinel-2	
NDVI	21-02-2019	Sentinel-2	
NDRE	21-02-2019	Sentinel-2	

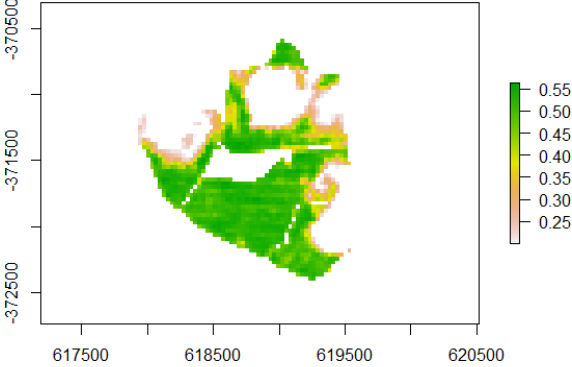
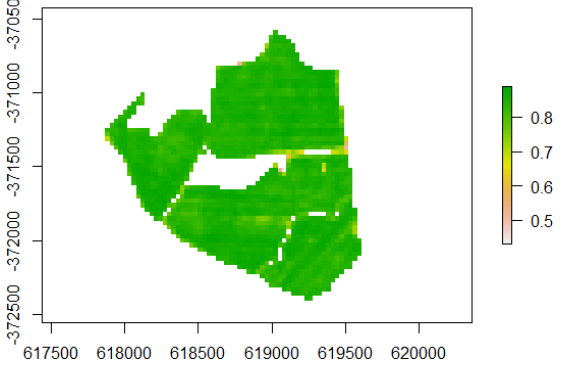
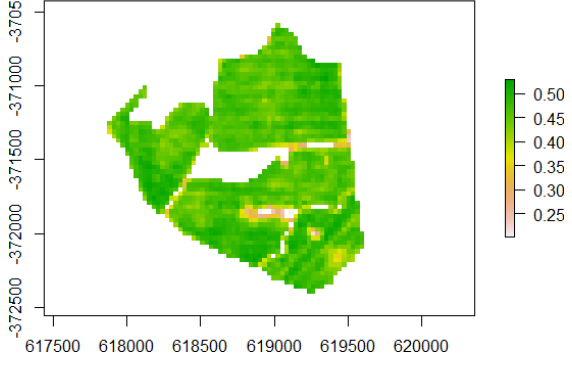
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	21-02-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the EVI index for February 21, 2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 619000 and y-coordinates 9642000 to 9643000. The color scale ranges from 0.25 (light green) to 0.35 (dark green). The map shows a fragmented area with low vegetation density, with some white areas indicating no data or bare ground.</p>
NDVI	02-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDVI index for April 2, 2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 618500 and y-coordinates 9642000 to 9643200. The color scale ranges from 0.3 (light green) to 0.8 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density, with some white areas indicating no data or bare ground.</p>
NDRE	02-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDRE index for April 2, 2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 618500 and y-coordinates 9642000 to 9643200. The color scale ranges from 0.3 (light green) to 0.6 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density, with some white areas indicating no data or bare ground.</p>
EVI	02-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the EVI index for April 2, 2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 618500 and y-coordinates 9642000 to 9643200. The color scale ranges from 0.4 (light green) to 0.8 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density, with some white areas indicating no data or bare ground.</p>

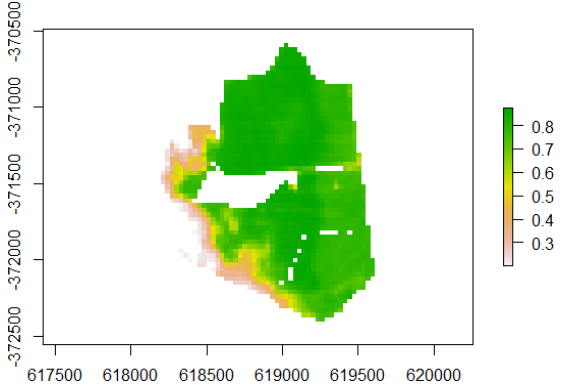
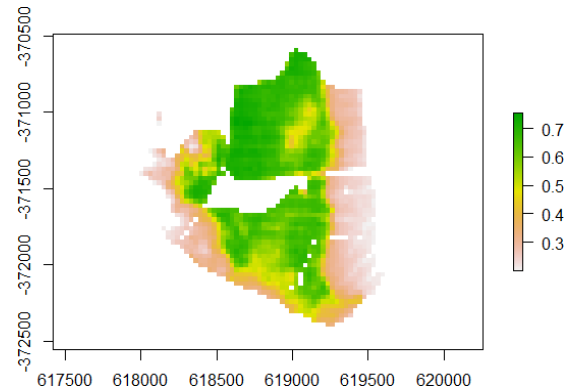
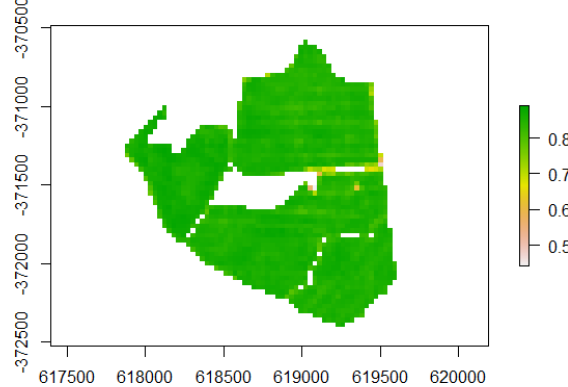
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	07-04-2019	Sentinel-2	
NDRE	07-04-2019	Sentinel-2	
EVI	07-04-2019	Sentinel-2	
NDVI	12-04-2019	Sentinel-2	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDRE	12-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDRE index for the date 12-04-2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 619000 and y-coordinates 9642000 to 9643000. The index values are represented by a color scale from 0.3 (light green) to 0.6 (dark green). The map shows a large green area with some internal features and a small white area on the right side.</p>
EVI	12-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the EVI index for the date 12-04-2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 619000 and y-coordinates 9642000 to 9643000. The index values are represented by a color scale from 0.3 (light green) to 0.7 (dark green). The map shows a large green area with some internal features and a small white area on the right side.</p>
NDVI	22-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDVI index for the date 22-04-2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 619000 and y-coordinates 9642000 to 9643000. The index values are represented by a color scale from 0.3 (light green) to 0.9 (dark green). The map shows a large green area with some internal features and a small white area on the right side.</p>
NDRE	22-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDRE index for the date 22-04-2019. The map area is bounded by x-coordinates 617000 to 619000 and y-coordinates 9642000 to 9643000. The index values are represented by a color scale from 0.3 (light green) to 0.9 (dark green). The map shows a large green area with some internal features and a small white area on the right side.</p>

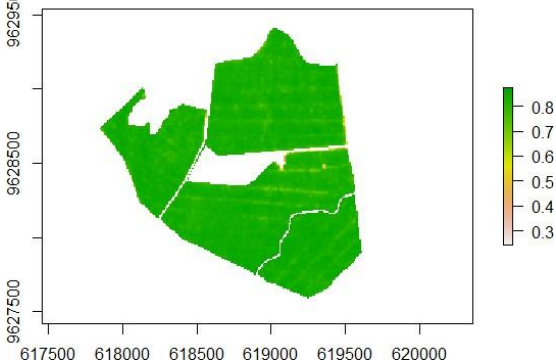
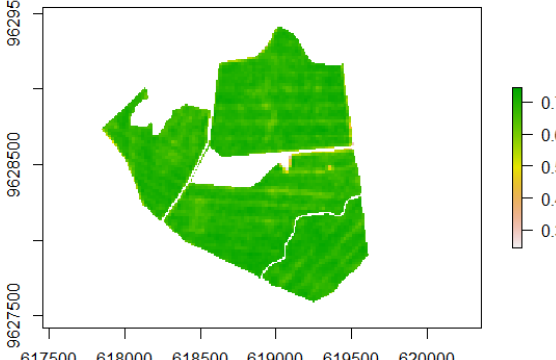
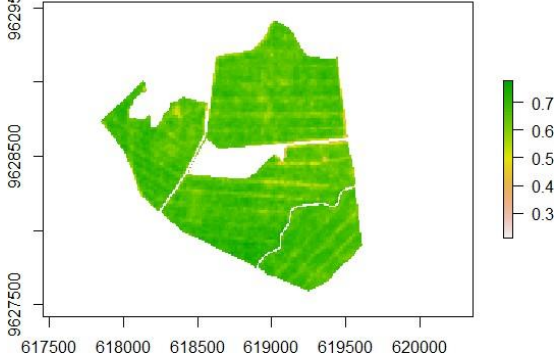
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	22-04-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the EVI index for April 22, 2019. The map area is bounded by coordinates 617000 to 619000 on the x-axis and 9642000 to 9643000 on the y-axis. The color scale ranges from 0.3 (light green) to 0.7 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (dark green) in the upper right, with some lower density areas (light green) in the lower left and center.</p>
NDVI	02-05-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDVI index for May 2, 2019. The map area is bounded by coordinates 617000 to 619000 on the x-axis and 9642000 to 9643000 on the y-axis. The color scale ranges from 0.3 (light green) to 0.8 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (dark green) in the upper right, with some lower density areas (light green) in the lower left and center.</p>
NDRE	02-05-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the NDRE index for May 2, 2019. The map area is bounded by coordinates 617000 to 619000 on the x-axis and 9642000 to 9643000 on the y-axis. The color scale ranges from 0.3 (light green) to 0.6 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (dark green) in the upper right, with some lower density areas (light green) in the lower left and center.</p>
EVI	02-05-2019	Sentinel-2	 <p>A map showing the EVI index for May 2, 2019. The map area is bounded by coordinates 617000 to 619000 on the x-axis and 9642000 to 9643000 on the y-axis. The color scale ranges from 0.3 (light green) to 0.8 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (dark green) in the upper right, with some lower density areas (light green) in the lower left and center.</p>

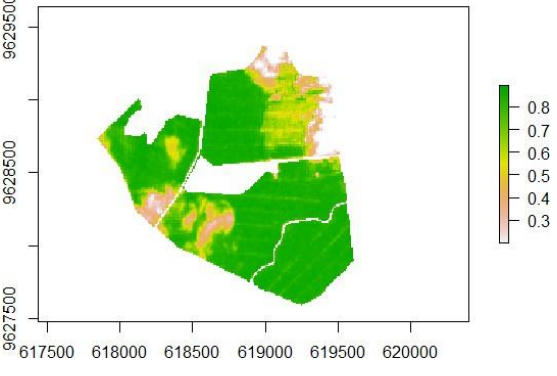
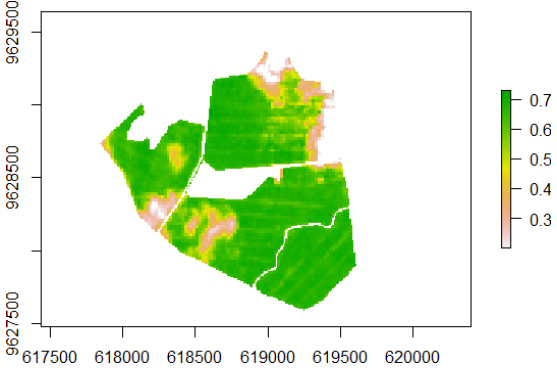
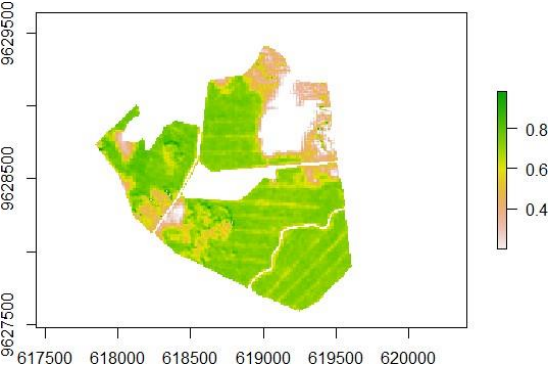
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
Sebastián			
NDVI	06-05-2017	Landsat-8	 <p>A map showing the NDVI index for the date 06-05-2017. The map area is bounded by coordinates 617500 to 620000 on the x-axis and -372500 to -370500 on the y-axis. The vegetation is represented in shades of green, with a color scale on the right ranging from 0.5 (light green) to 0.8 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (green) with some internal boundaries and a few small areas of lower density (yellowish-green).</p>
EVI	06-05-2017	Landsat-8	 <p>A map showing the EVI index for the date 06-05-2017. The map area is bounded by coordinates 617500 to 620000 on the x-axis and -372500 to -370500 on the y-axis. The vegetation is represented in shades of green, with a color scale on the right ranging from 0.30 (light green) to 0.60 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (green) with some internal boundaries and a few small areas of lower density (yellowish-green).</p>
NDVI	13-10-2017	Landsat-8	 <p>A map showing the NDVI index for the date 13-10-2017. The map area is bounded by coordinates 617500 to 620500 on the x-axis and -372500 to -370500 on the y-axis. The vegetation is represented in shades of green and yellow, with a color scale on the right ranging from 0.3 (light green) to 0.8 (dark green). The map shows a large area of high vegetation density (green) with some internal boundaries and a few small areas of lower density (yellowish-green).</p>

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	13-10-2017	Landsat-8	
NDVI	06-03-2018	Landsat-8	
EVI	06-03-2018	Landsat-8	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	04-01-2019	Landsat-8	
EVI	04-01-2019	Landsat-8	
NDVI	10-04-2019	Landsat-8	

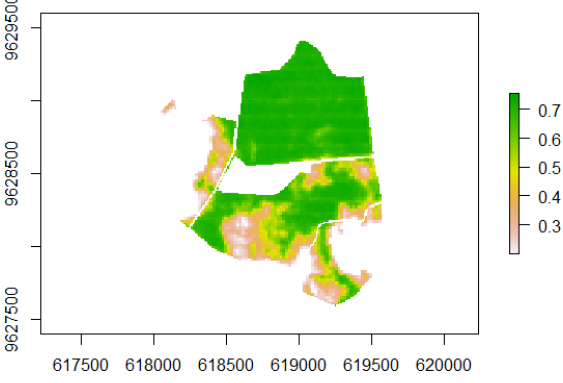
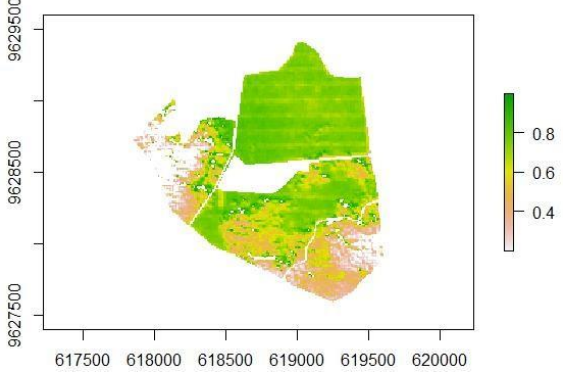
Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
EVI	10-04-2019	Landsat-8	
NDVI	26-04-2019	Landsat-8	
EVI	26-04-2019	Landsat-8	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	02-01-2019	Sentinel-2	
NDRE	02-01-2019	Sentinel-2	
EVI	02-01-2019	Sentinel-2	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDVI	26-02-2019	Sentinel-2	
NDRE	26-02-2019	Sentinel-2	
EVI	26-02-2019	Sentinel-2	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDRE	07-04-2019	Sentinel-2	
EVI	07-04-2019	Sentinel-2	
NDVI	22-04-2019	Sentinel-2	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDRE	22-04-2019	Sentinel-2	
EVI	22-04-2019	Sentinel-2	
NDVI	11-07-2019	Sentinel-2	

Índice de vegetación	Fecha	Satélite	Imagen
NDRE	11-07-2019	Sentinel-2	
EVI	11-07-2019	Sentinel-2	

Nota: Descripción de las imágenes en estudio según las fincas analizadas; con su respectivo índice de percepción remota (NDVI, NDRE, EVI) y satélite (Landsat 8 y Sentinel 2).