

Seguimiento Fenológico en Bosque Seco Tropical con Imágenes Multiespectrales

Argenis Hernández Sánchez, Fabian Eduardo Manosalva Carvajal

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Sandra Milena Díaz López

MSc en Manejo uso y Conservación del Bosque

Codirector

Diego Suescún Carvajal

MSc en Bosques y Conservación Ambiental

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2021

### **Dedicatoria**

Este proyecto dedicado principalmente a **DIOS** por guiarme e inspirarme dándome fuerza  
para continuar este proceso de formación.

A mis padres, **Olegario Manosalva** por ejemplo de trabajo y sacrificio para lograr las metas y  
especialmente a mi madre **Carmen Rosa Carvajal** por ser el pilar más importante, dándome la  
fuerza, motivación e inspiración para emprender y culminar las metas que me propongo.

A mi hermano **Javier Leonardo Manosalva** por su continuo apoyo, a **Gladis Peña** por su  
incondicional apoyo y consejos.

Por último, a mis familiares y amigos que han sido participes en mi proceso de formación, los  
cuales me brindaron conocimiento, apoyo y ánimo. A todos muchísimas gracias.

### **Fabian Eduardo Manosalva Carvajal.**

Doy gracias a **Dios** por haberme permitido cumplir una meta más, por haberme guiado durante  
este tiempo.

Le doy gracias a mi mamá **Angelina Sánchez Bustacara** por todo el apoyo brindado durante  
cada etapa de mi formación, gracias por cada consejo que me dio cuando me sentía que no podía  
más, te agradezco por cada esfuerzo y sacrificio que hizo por mí, gracias por demostrarme que  
por cada esfuerzo hay una recompensa. Gracias por todo mi guerrera.

a mis abuelitos **Facundo Sánchez** y **Pacífica Bustacara**, gracias por apoyarme, por estar a  
mi lado, por cada consejo que me dieron.

de igual manera a mi tío **Pablo Sánchez**, quienes con esfuerzos me ha apoyado durante este  
proceso de formación,

**Argenis Hernández Sánchez**

*“Ir a dar un paseo por el bosque es como recibir un fuerte abrazo de la Madre Naturaleza”.*

***Jamie Erwine.***



*“Conociendo los árboles, entiendo el significado de la paciencia. Conociendo la hierba, puedo apreciar la persistencia”.* ***Hal Borland.***

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a nuestra directora Sandra Milena Díaz López y codirector Diego Suescún Carvajal quienes nos han orientado en el proceso de formación y acompañamiento de nuestro proyecto de grado, y a los docentes que participaron en nuestra formación de educación superior aportándonos conocimientos, experiencias los cuales son de gran importancia para nuestra vida como profesionales.

También agradecerle al señor Delfo Uribe y a su familia, por habernos permitido ingresar a su predio para realizar nuestro proyecto y por habernos colaborado y acompañado en cada una de las etapas del proyecto.

De igual manera a nuestra Alma Mater Universidad Industrial de Santander por brindarnos conocimiento, sabiduría y virtudes para nuestra formación como profesionales, agradecer a nuestros compañeros de estudios por las experiencias vividas y apoyo durante nuestra etapa de formación.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	12
1. Objetivos .....	14
1.1 Objetivo General .....	14
1.2 Objetivos Específicos.....	14
2. Antecedentes .....	15
3. Marco referencial .....	19
3.1 Marco teórico .....	19
3.1.1. ¿Qué es fenología? .....	19
3.1.2 Condiciones climáticas que condicionan los cambios fenológicos en las especies.....	20
3.1.3 Estudios relacionados con las especies <i>Astronium graveolens</i> y <i>Bursera simaruba</i> . .....	22
3.1.3.1. <i>Astronium graveolens</i> .. .....	22
3.1.3.2 <i>Bursera simaruba</i> . .....	22
3.1.4 Espectro electromagnético. ....	23
3.1.5 Índices de vegetación. ....	24
3.1.5.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). ....	24
3.1.5.2 Índice de vegetación ajustado al suelo modificado (MSAVI). ....	25
3.2 Marco conceptual.....	27
4. Metodología .....	28
4.1 Área de estudio. ....	28
4.2 Adquisición de la base de datos de las cuatro estaciones meteorológicas.....	29
4.3 Procesamiento de los datos meteorológicos. ....	30

4.4 Imágenes multiespectrales. ....	30
4.5 Trabajo en campo.....	31
5. Resultados.....	33
5.1 Mapas de identificación del área de estudio .....	33
5.2. Datos de las variables meteorológicas, obtenidas por estaciones meteorológicas.....	34
5.3 Selección de épocas para la obtención de las imágenes satelitales, para la aplicación de los índices de vegetación (NDVI, GNDVI y MSAVI).....	36
5.4 Índices de vegetación.....	37
5.4.1 Índice de vegetación NDVI. ....	37
5.3.2 Índice de vegetación GNDVI.....	43
5.3.3 Índice de vegetación MSAVI.....	45
5.3.4 Temporalidad anual de 2019.....	47
5.4 Recolección de información del bs-T. ....	49
6. Discusión.....	51
7. Conclusiones.....	53
8. Recomendaciones .....	54
Referencias Bibliográficas .....	55
Apéndices.....	62

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Factores del clima en la fenología vegetal..... 21

Tabla 2. Características de las estaciones meteorológicas..... 30

**Lista de Figuras**

Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas.....	29
Figura 2. Mapa del modelo de elevación del municipio de Enciso .....	33
Figura 3. Mapa de curvas del municipio de Enciso .....	34
Figura 4. Gráfico de precipitación con promedio mensual de 32 años con respecto a la temperatura con promedio de 20 años .....	35
Figura 5. Precipitación con respecto a temperatura del año 2019 .....	36
Figura 6. Índice de vegetación NDVI.....	38
Figura 7. Puntos de muestreo para los índices de vegetación ilustrado por un NDVI a escala de grises. ....	39
Figura 8. NDVI de la especie <i>Bursera simaruba</i> .....	40
Figura 9. NDVI de la especie <i>Astronium graveolens</i> .....	41
Figura 10. Índice de vegetación NDVI en diferentes coberturas del área de estudio.....	42
Figura 11. Índice de vegetación GNDVI .....	43
Figura 12. Variables del índice de vegetación GNDVI .....	44
Figura 13. Índice de vegetación MSAVI .....	45
Figura 14. Variables del índice de vegetación MSAVI.....	46
Figura 15. Índice NDVI con mensuales del 2019 temporalidades .....	48

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. Formato para recolectar información en campo. ....	62
Apéndice B. Base de datos adquirida del IDEAM.....	63
Apéndice C. Puntos de muestreo en campo .....	64
Apéndice D. Adquisición de las imágenes de la página Planet tratamiento de las imágenes. 64	
Apéndice E. Tratamiento de las imágenes en QGIS .....	65
Apéndice F. Datos de los índices de vegetación .....	67
Apéndice G. Toma de imágenes con el vehículo aéreo no tripulados .....	68
Apéndice H. Imagen detallada de la especie <i>Bursera simaruba</i> a través del dron .....	70
Apéndice I. Imágenes tomadas en campo .....	71

## Resumen

**Título:** Seguimiento fenológico en bosque seco tropical con imágenes multiespectrales\*

**Autor:** Argenis Hernández Sánchez, Fabian Eduardo Manosalva Carvajal\*\*

**Palabras Clave:** teledetección, índices de vegetación, imágenes satelitales, fenología.

### Descripción:

El bosque seco tropical (bs-T) tiene gran diversidad de plantas que se adaptan a las condiciones de estrés hídrico, presenta temperatura superior a 24 °C y escasa precipitación, este ecosistema presenta características en su vegetación como pérdida del follaje, con hojas compuestas y pequeñas también, presentan aguijones o espinas, Por otra parte, los suelos son considerados fértiles, donde aumenta la productividad agrícola y ganadera, ocasionando un aumento en la deforestación, debido a estos factores el bs-T se ha venido degradando. Esto se puede evidenciar a través de imágenes satelitales en una secuencia de tiempo, además, al aplicar índices de vegetación permite evaluar la fenología foliar.

La metodología implementada para el proyecto fue un procesamiento de datos meteorológicos mediante el análisis de las variables de temperatura y precipitación, luego se implementó la selección de imágenes satelitales (PlanetScope) por sus características de buena resolución espacial y de imágenes tomadas con vehículo aéreo no tripulado, para la observación del comportamiento foliar de especies forestales, mediante la implementación de índices de vegetación los cuales arrojaron valores de vigorosidad y senescencia de la vegetación esto relacionado con las estacionalidades climáticas.

Los resultados obtenidos con los índices de vegetación NDVI, GNDVI y MSAVI muestran diferencias en las coberturas a través del tiempo, las cuales corresponden a cambios en las características fenológicas de la vegetación, presenta un mayor cambio fenológico en las especies *Astronium graveoles* Jacq y *Bursera simaruba*, donde evidencia cambios en tres épocas siendo las épocas lluviosas vitales para la vigorosidad de la vegetación y épocas secas para la senescencia del follaje, finalmente, se verifico la información en campo.

Haciendo uso de imágenes multiespectrales de alta resolución es posible estudiar y observar los cambios de la fenología foliar en diferentes estacionalidades y por un lapso de tiempo obteniendo información constante y a bajo costo.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Días López, Sandra Milena. MSC en Manejo uso y Conservación del Bosque. Codirector: Suescún Carvajal, Diego. MSC Bosques y Conservación Ambiental

### Abstract

**Title:** Phenological monitoring in tropical dry forest with multispectral images \*

**Author:** Argenis Hernández Sánchez, Fabian Eduardo Manosalva Carvajal \*\*

**Key Words:** remote sensing, vegetation indices, satellite images, phenology.

### Description:

The tropical dry forest (bs-T) has a great diversity of plants that adapt to conditions of water stress, has a temperature higher than 24 ° C and little precipitation, this ecosystem presents characteristics in its vegetation such as loss of foliage, with compound leaves and small ones too, have stingers or thorns. On the other hand, the soils are considered fertile, where agricultural and livestock productivity increases, causing an increase in deforestation, due to these factors the bs-T has been degrading. This can be evidenced through satellite images in a time sequence, in addition, by applying vegetation indices it allows to evaluate foliar phenology.

The methodology implemented for the project was a processing of meteorological data through the analysis of temperature and precipitation variables, then the selection of satellite images (PlanetScope) was implemented due to their characteristics of good spatial resolution and images taken with an unmanned aerial vehicle, for the observation of the foliar behavior of forest species, by means of the implementation of vegetation indices which showed values of vigor and senescence of the vegetation, this related to the climatic seasonality.

The results obtained with the vegetation indices NDVI, GNDVI and MSAVI show differences in the covers over time, which correspond to changes in the phenological characteristics of the vegetation, presenting a greater phenological change in the *Astronium graveoles* Jacq and *Bursera simaruba* species, where it shows changes in three seasons, the rainy seasons being vital for the vigor of the vegetation and dry seasons for the senescence of the foliage, finally, the information was verified in the field.

Using high-resolution multispectral images, it is possible to study and observe the changes in foliar phenology in different seasons and for a period of time, obtaining constant information at low cost.

---

\* Degree work

\*\* Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. IPRED. Programa de Ingeniería Forestal. Director: Días López, Sandra Milena. MSC en Manejo uso y Conservación del Bosque. Codirector: Suescún Carvajal, Diego. MSC Bosques y Conservación Ambiental

## Introducción

El bosque seco tropical (bs-T) es uno de los ecosistemas más amenazados del país, debido a las afectaciones antrópicas como: la producción agropecuaria la cual ha disminuido la extensión y por ende la preservación de este. Este ecosistema ha perdido el 96% de su cobertura original debido a las sobre cargas agropecuarias y la deforestación (IAvH, 2021). Debido a estos factores el Ministerio del Medio Ambiente lo ha declarado ecosistema estratégico para la conservación (IAvH, s.f.). El bs-T se encuentran distribuido en Colombia en seis regiones: en el Caribe, los valles interandinos de los ríos Cauca y Magdalena, la región NorAndina en Santander y Norte de Santander, el valle del Patía, Arauca y Vichada en los Llanos.

Por lo tanto, es necesario que se implementen parcelas permanentes con la finalidad de realizar monitoreos a los bosques para entender los procesos ecológicos de los ecosistemas a escalas espaciales como temporales. (Phillips et al., 2009; Brienen et al., 2015).

Sin duda la susceptibilidad que tiene el ecosistema debido al cambio climático ha generado que las plantas adopten características y mecanismos para resistir a los cambios ambientales y amenazas presentes en el ecosistema, por eso, la importancia de monitorear el bosque seco tropical a través de la implementación de nuevas tecnologías, como es la utilización de los vehículos aéreos no tripulados (VANT) para la toma de imágenes multiespectrales. Implementando el seguimiento anual es posible realizar el seguimiento fenológico del bosque seco tropical, valiéndose de parcelas permanentes ya establecidas que permiten tener una información respecto a estructura y composición del bosque, la cual es clave y básica para el monitoreo por medio de imágenes multiespectrales. Cabe destacar que la utilización de vehículos aéreos no tripulados y de imágenes multiespectrales se puede evaluar diferentes zonas de interés como lo es el bs-T. Esto permitirá

evaluar el proceso fenológico durante diferentes épocas del año; la ventaja de la implementación de estas tecnologías es que por medio de imágenes y de software se pueden obtener datos fiables, que se deben corroborar en campo para una mejor confiabilidad de los resultados. Así, se quiere lograr un ahorro en tiempo y costos, pero obteniendo datos precisos del comportamiento del proceso fenológico dentro de un bs-T.

La identificación de los patrones fenológicos de la vegetación permite evaluar la fluctuación reproductiva y adaptativa, de igual manera estimar la cantidad de agua y energía presente (Running y Nemani, 1991; White et al, 1999).

Por otra parte, la investigación de la vegetación y de las alteraciones de sus patrones, son importantes para evaluar los recursos naturales y su monitoreo. Por esta razón la detección y la evaluación cuantitativa de la vegetación constituyen una de las mejores aplicaciones de la percepción remota (Gómez, 2005).

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar el comportamiento fenológico del bosque seco tropical (bs-T) con imágenes multiespectrales.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Evaluar el comportamiento fenológico de las especies forestales que tienden a un mayor cambio de pérdida de follaje anual.

Categorizar la distribución de elementos meteorológicos que determinen cambios fenológicos del bosque seco.

Determinar índices de vegetación para corroborar cambios en el follaje.

## 2. Antecedentes

### **Caracterización del comportamiento fenológico de las coberturas vegetales en un sector de la Pampa Deprimida (Argentina): una aproximación utilizando series temporales del NDVI.**

La caracterización fenológica se desarrolló en la Pampa Deprimida la cual alcanza una parte de los siguientes municipios; Rauch, Azul, las flores, Tapalqué, Alvear, Pila y Ayacucho. Cabe destacar que esta zona es netamente ganadera. El análisis precedente se desarrolló desde 2000 a 2011. Realizaron un análisis de la cobertura obteniendo una matriz de pastos cortos y pastos cultivados en donde *Paspalum quadrifarium* (paja colorada) fue utilizada en la tesis. Para el análisis implementaron imágenes MODIS para obtener el NDVI mediante series temporales y procesadas en el software TIMESAT v.2.3. En cuanto a los datos procesados obtuvieron curvas anuales de crecimiento bimodales, donde el máximo se presentó en los meses de octubre, noviembre y comienzos de marzo, el mes que presentó el NDVI más bajo fue el mes de enero. Por último, determinaron que en la cobertura analizada no hubo una diferencia significativa, aunque *Paspalum quadrifarium* presentó una variedad con respecto al crecimiento (Lara, 2016)

### **Variación espacio-temporal de la fenología del arroz en Aragón a partir de información multiespectral satelital.**

Para analizar el espacio temporal de la fenología en Aragón, se estipularon seis años de estudio desde 2008 a 2013, ellos obtuvieron información de las siguientes entidades: la cartografía la obtuvieron del Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), de igual manera utilizaron datos de ISGPAC de los años 2008 y 2013; que son procedentes del departamento de Aragón; del Centro Nacional de Información Geográfica obtuvieron ortofotos del

año 2012; adquirieron 35 imágenes satelitales Landsat 5-TM del periodo de 2008-2011; del satélite Deimo obtuvieron seis imágenes del año 2012, y por último, utilizaron imágenes satelitales Landsat 8 OLI del Plan Nacional de Teledetección (PNT). Cabe destacar que todas las imágenes que implementaron estaban corregidas geométrica y radiométricamente. Además, establecieron parcelas para recoger la variedad climática, las parcelas las estipularon en los municipios de Ejea de los Caballeros (Zaragoza), Alcolea de Cinca, Grañén, Lalueza, Monzón, San Miguel de Cinca, Sangarrén, Torralba de Aragón, Barbués-Torres de Barbués y Villanueva de Sigena (Huesca). Para la selección de las imágenes definitivas fue de acuerdo con la observación del falso color de las imágenes, que les permitió determinar si eran cultivos de arroz o no. De acuerdo con las observaciones obtenidas, identificaron que el mayor NDVI se presentó en el mes de agosto con un rango superior de 0,8, la variabilidad que se presentó entre los años por lo general fue igual excepto el año de 2013 en el cual ellos pudieron observar que en ese año presentaron problemas meteorológicos, el cual causó descenso de la temperatura esta disminución se presentó a finales de mayo retrasando la siembra por lo menos 15 días, (Guillén et al., 2017).

### **Estimación de la fenología de la vegetación a partir de imágenes de satélite: el caso de la península ibérica e islas Baleares (2001-2017)**

El estudio evaluó el comportamiento fenológico de la vegetación, de la península ibérica e islas baleares. En el cual realizaron series temporales de NDVI-MODIS y en las que encontraron que la vegetación presentó una variedad en la fenología, en las regiones biogeográficas Alpina, atlántica y mediterránea. en la cual se presentó un adelanto en el comienzo de la primavera y final de la senescencia. En el caso de atlántica y Alpina tuvieron una dinámica fenológica similar, aunque en Alpina presento una fenología más tardía, debido a sus fenofases que presentaron una

variedad fenológica interna que puede ser debido a las coberturas del suelo (suelo y vegetación natural) o por efecto de las condiciones climáticas (Caparros y Rodríguez, 2020).

### **Seguimiento de estado de la vegetación en función de las precipitaciones mediante el uso de índices de vegetación y métricas de fenología de superficie (LSP) en el Parque Natural del Carrascal de la Font Roja**

Los resultados obtenidos fueron con relación a los índices de vegetación y el estudio de la fenología, estos son considerados como herramientas útiles para realizar el seguimiento de la vegetación en función del clima. En el Parque Natural del Carrascal de la Font Roja, se presentó una tendencia negativa en la estación de crecimiento por la precipitación anual y particularmente por las lluvias de primavera. De igual manera, los autores de este trabajo recomiendan que se utilicen más variables climáticas y topográficas (Moutahir, 2017).

### **Fenología de ciclos cortos de vegetación en un pastizal de Kenia de PlanetScope y Sentinel-2**

El estudio lo desarrollaron en la granja Kapiti, la cual es propiedad del Instituto Internacional de Investigación Ganadera (ILRI), La zona presenta un patrón de lluvias bimodal, la cual presenta lluvias cortas de octubre a enero y las lluvias más largas de marzo a junio. Para el estudio implementaron imágenes; PlanetScope; Sentinel-2; Series temporales de cámaras de campo y MODIS. Como resultados obtuvieron que el ajuste de curvas de las imágenes PlanetScope y Sentinel-2 presentaron resultados similares, en el caso de las series temporales de cámaras de campo observaron que la vegetación herbácea responde rápidamente a las estaciones lluviosas y de humedad. Por otra parte, identificaron que otros factores influyen en los tiempos fenológicos, como son las características del terreno, la disponibilidad del agua y las precipitaciones. Por último, determinaron que la utilización de series de imágenes tanto PlanetScope y Sentinel-2 son viables para el estudio de la fenología vegetal (Cheng et al., 2020).

### **La integración de múltiples escalas de la teledetección satelital mejora la caracterización del reverdecimiento de la estación seca en un bosque siempre verde tropical del Amazonas**

El estudio se desarrolló en el bosque siempre verde tropical en el Amazonas Central, el periodo de seguimiento para este estudio fue desde 2000 hasta diciembre de 2005, ellos utilizaron dos tipos de imágenes MODIS y PlanetScope con la finalidad de observar la fenología de esta zona. Además, utilizaron fenocamaras para corroborar la información en campo.

Por otra parte, ellos obtuvieron como resultado, de la calibración cruzada de las imágenes y no calibración cruzada de las imágenes dichos resultados, al realizar la calibración de las imágenes obtuvieron que tanto MODIS como PlanetScope presentaron variaciones fenológicas ricas y detalladas a un píxel de 3m. en el caso de la no calibración cruzada las imágenes PlanetScope presentó mayor variabilidad con respecto a las imágenes calibradas. El estudio consistió en implementar un método para integrar PlanetScope con MODIS ajustado, con la finalidad de monitorear la fenología (Wang et al., 2020).

### **Estimación de la productividad primaria neta en coberturas de bosque seco tropical a partir de imágenes satelitales Landsat 8 OLI TIRS**

La identificación del área de estudio de las veredas agua blanca y pozo azul, del municipio de Girardot-Cundinamarca; se realizó por medio de la implementación de la cartografía que fue adquirida de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (Regional Alto Magdalena) y del programa informático Google Earth. Por otra parte, utilizaron las imágenes satelitales multiespectrales Landsat 8 y el software ArcGIS, en el cual procesaron las imágenes satelitales y observaron los tipos de bosque que se encuentran en el área de estudio mediante la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Los resultados obtenidos para el índice de

vegetación de diferencia normalizada (NDVI); en el periodo de julio 2013 a septiembre de 2014 observaron una misma tendencia, con respecto al periodo de enero a febrero se presentaron altas temperaturas debido al fenómeno de El Niño, pero en noviembre de 2016 se presentó precipitaciones lo cual aumentó el índice obteniendo valores de 0,8-0,9. La serie temporal que realizaron para el mes de julio entre 2013 y 2015, mostró valores entre -0,49 a 0,84 en el 2013; para el año 2014 el rango estuvo entre -0,65 a 0,85. En el año 2013 se presentó mayor precipitación con respecto los años 2014 y 2015 los cuales registraron temperaturas más altas (Maldonado y Zamora, 2017).

### **3. Marco referencial**

#### **3.1 Marco teórico**

##### **3.1.1. ¿Qué es fenología?**

En 1853 se utilizó por primera vez el término fenología por el botánico Charles Morren (Hopp, 1974). Lieth, (1974) definió la fenología como “el arte de observar las fases del ciclo de vida o las actividades de plantas y animales en su ocurrencia temporal a través del año”. Por otra parte, la fenología está relacionada con la ecología y eventos biológicos teniendo en cuenta las temporalidades (Meave y Williams, 2015).

La fenología es considerada como el estudio de las fases de una planta, que se presentan durante una época anual. Es decir, que estudia todo lo relacionado con los procesos fenológicos y que se clasifican en dos grupos, vegetativos y reproductivos. En el vegetativo, las fenofases se refieren a la pérdida foliar y rebrote de las hojas; mientras el reproductivo se refiere a los procesos de fructificación y floración. También los procesos abióticos, al igual que los bióticos, de alguna manera intervienen en los procesos fenológicos de las plantas (Gómez, 2010).

### **3.1.2 Condiciones climáticas que condicionan los cambios fenológicos en las especies.**

El cambio climático ha sido afectado por diversos factores entre estos el incremento del dióxido de carbono y de la temperatura, lo que ha causado alteraciones en la intensidad de la precipitación a través del espacio y tiempo. Además, influye en la severidad de los eventos climáticos ocasionando que estos sean extremos. Esto, ha generado afectaciones en productividad, abundancia y distribución de las especies, por otro lado, ha presentado afectaciones en la dinámica poblacional y variaciones en los procesos fenológicos y fisiológicos en los diferentes ecosistemas (Lorente et al., 2004).

Por otra parte, la vegetación se ha adaptado a las condiciones meteorológicas, ya que a lo largo del año las plantas soportan alteraciones en los patrones fenológicos, debido a las condiciones climáticas, por ende, las plantas optan por crear cambios en sus mecanismos de morfología y fisiología para sobrevivir. La floración es afectada por la temperatura, pero existen otros factores que afectan los procesos fenológicos como el fotoperíodo y la disponibilidad de agua. Las fenofases han sido alteradas a causa del calentamiento global lo cual ha generado adelantos o retrasos en la fenología de las especies (Marco et al, 2002).

Las condiciones climáticas influyen en las alteraciones fenológicas para tal efecto se evidencian cambios en la distribución espacial, tiempos de crecimiento y senescencia del follaje (Peñuelas y Filella, 2001; Schwartz et al., 2006; Cleland et al., 2007).

Tabla 1.

*Factores del clima en la fenología vegetal*

<b>Factor</b>	<b>Características</b>
<b>Temperatura del aire</b>	<p>Temperatura alta: la planta presenta un rápido desarrollo.</p> <p>Temperatura baja: los ciclos aumentan.</p> <p>“La fenología vegetal responde a la temperatura del aire en forma de suma térmica”</p>
<b>Fotoperiodo</b>	<p>El fotoperiodo está relacionado con la floración de las plantas, ya que estas de igual manera indica el cambio del estado vegetativo al reproductivo.</p>
<b>Precipitación</b>	<p>Las especies perennes en las estaciones secas descansan.</p> <p>A causa de la falta de agua la vegetación presenta defoliación, bajo desarrollo, pérdida de la floración y de los frutos. Además, las plantas pueden presentar estrés causando la aceleración o desaceleración de las fenofases.</p>

Nota: adaptado del artículo El clima como factor determinante de la fenología vegetal (Bergamaschi, 2007).

### 3.1.3 Estudios relacionados con las especies *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba*.

**3.1.3.1. *Astronium graveolens*.** Es una especie que se adapta a terrenos rocosos, planos, altos de igual manera a suelos bien drenados o aquellos que no presentan un adecuado drenaje. Es una especie heliófila, su floración se presenta en las épocas más secas, durante los meses de enero y febrero, en los municipios de la Pintada y la Olaya. Cabe destacar que la florescencia no se presenta en todas las ramas del árbol sino en algunas. Además, no todos los individuos florecen al mismo tiempo, hay unos que se siguen en el estado vegetativo.

La fructificación se presenta en los meses de febrero y marzo, y se deben recoger los frutos antes que tomen un color café. La caída del follaje coincide con la maduración, ya que estas fenofase se presentan cuando hay una menor precipitación (Gómez, 2010).

Los estudios que han realizado con respecto a la especie *Astronium graveolens*, referente al follaje, es que la especie es tolerante a la sequía y presenta una buena capacidad para mantener las hojas durante el ciclo seco. Por otra parte, han observado que la pérdida de las hojas se debe a la deshidratación y rehidratación debido a las precipitaciones esporádicas en el transcurso de la época seca (Pacheco, 2001).

**3.1.3.2 *Bursera simaruba*.** Esta especie es originaria de América tropical. Se encuentra como especie nativa en las áreas de Florida central hasta la Bahamas, las Antillas, también se encuentra desde el sur de México hasta Colombia, Venezuela y la Guayana. Esta especie requiere una precipitación anual media de 500 a 1400 mm, con una temperatura entre 18 a 27 °C. Se puede encontrar en laderas escarpadas y en llanos (Garden y Forest, 1890).

En Valledupar, Departamento del Cesar, Colombia. Identificaron la fenología de la especie *Bursera simaruba* donde encontraron que la especie presenta pérdida de follaje en el mes de

febrero, en el mes de mayo se presenta la fenofase de yemas y de hojas jóvenes, en junio solo se presenta hojas maduras, la fenofase de floración se presenta en marzo y la fructificación en agosto. Se concluye que la especie en las épocas secas pierden un 60 % de su follaje y en la época húmeda lo pierde en un 30% (Lattke y Rangel, 2014).

La fenofase foliar se presentó en los meses de marzo a mayo, entre el periodo de noviembre a mayo presentó una fenofase estacional y sincrónica, además, de diciembre a febrero un mayor índice de actividad (Hernández, 2019).

#### **3.1.4 Espectro electromagnético.**

Bernardo et al. (2005) describe que la luz y la radiación emitida por el sol se puede clasificar en el espectro electromagnético y se puede caracterizar en frecuencia y longitud de onda. Por otra parte, el espectro electromagnético determina a través de la absorción y emisión la reflectancia de los elementos, además, el espectro de emisión y absorción son de origen natural (Casanova, 2012).

La energía electromagnética se puede transmitir de tres maneras posibles: conducción, convección y radiación. Por otra parte, la radiación electromagnética de los objetos de la tierra presenta longitudes de onda diferentes, por ejemplo, en el caso de las hojas verdes estas presentan una alta reflectividad en la longitud de onda la cual corresponde al verde, otro ejemplo, es en un papel blanco el cual presenta reflectancia en todas las longitudes de onda (González, 2004).

El espectro electromagnético en la vegetación depende de varios factores como la pigmentación, la forma de la hoja y el contenido de agua que contenga la planta. Por ejemplo, el espectro electromagnético en un bosque depende del ángulo y geometría de la hoja, y el efecto del suelo (Manzano, 2004 citado en Hernández y Montaner, 2009).

Los índices espectrales permiten caracterizar y evaluar los diferentes procesos fenológicos, así como detectar los cambios bruscos que pueda provocar los procesos naturales o impactos antrópicos (Segura, 2006).

La salida de radiación proyectada de la superficie de la tierra es un proceso continuo que involucra cuatro dimensiones (espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia). El sensor tiene como función muestrear en este continuo y discretizar cada una de las dimensiones.

La discretización se lleva a cabo en los cuatro tipos de resolución, con los que se obtiene en la teledetección

Resolución espacial (tamaño de pixel)

Resolución temporal (tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes del mismo sitio)

Resolución espectral (capacidad de discriminar entre longitudes de onda vecinas en el espectro, característica que se refleja en el número de bandas en las que el sensor captura información).

Resolución radiométrica (número de intervalos de intensidad que puede captar el sensor) (Alonso, 2006).

### **3.1.5 Índices de vegetación.**

#### **3.1.5.1 Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).**

El NDVI evalúa la vegetación sana por medio de la energía absorbida o reflejada por el espectro electromagnético, mediante las bandas de rojo y el infrarrojo cercano. Por ejemplo, en el caso de las hojas vivas o fotosintéticamente activos que contienen agua entre las paredes de las células. La vegetación sana refleja una mayor energía, pero en el caso de la vegetación que sufre estrés hídrico no reflejarán la misma energía. En este caso en donde la vegetación presenta estrés hídrico disminuye la reflectancia del NIR y aumenta en la banda rojo.

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

RED: Reflectancia en la banda roja.

NIR: La reflectancia en la banda del infrarrojo cercano.

Los valores para la interpretación del NDVI va entre -1 a 1. Cuando se presentan valores por encima de 0,1 indica presencia de vegetación y entre más alto sea el valor mejor vigor tendrá la vegetación (Díaz, 2015).

La luz que el sol emite sobre los objetos es absorbida o reflejada a través de las longitudes de onda del espectro electromagnético. La vegetación tiene unos pigmentos en las hojas donde las plantas contienen clorofila, la cual absorbe luz visible de (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) para realizar el proceso de fotosíntesis, las hojas reflejan fuertemente la luz roja e infrarroja cercana de (0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ). Debido a esto, estas longitudes de onda se ven alteradas por la vegetación (Earth Observatory, 2000).

### **3.1.5.2 Índice de vegetación ajustado al suelo modificado (MSAVI).**

Este índice se utiliza con la finalidad de poder ampliar los límites del NDVI, a las áreas que se encuentran descubiertas de vegetación. El MSAVI se implementa en las zonas donde otros índices de vegetación arrojan datos no válidos o en la vegetación que no presenta buenas condiciones de clorofila, y presencia de poca vegetación (Índice de vegetación ajustado al suelo modificado, s.f.)

La diferencia que se presenta entre SAVI y MSAVI es en la forma como se halla la variable L, en SAVI se tiene en cuenta la cantidad de vegetación, pero normal mente se tomaba L como 0,5, mientras que MSAVI utiliza la ecuación propuesta por (Qi et al., 1994).

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)(1 + L)}{NIR + RED + L}$$

$$MSAVI = \frac{(2 \times NIR + 1) - \sqrt{((2 \times NIR + 1)^2 - 8 \times (NIR - RED))}}{2}$$

NIR=banda del infrarrojo cercano

RED= banda del visible, roja

L=Constante de compensación promedio

### 3.1.5.3 índice de vegetación de diferencia normalizado verde (GNDVI).

El índice GNDVI, utiliza la banda roja por la verde. Además, este índice permite observar la clorofila en sus diversas concentraciones.

$$GNDVI = \frac{(Nir - Green)}{Nir + Green}$$

Donde:

NIR = Infrarrojo cercano

Green= Banda verde

La interpretación del índice GNDVI se divide en dos categorías: en el área con cobertura vegetal y área descubierta de vegetación o superficie cubierta de agua, en este caso los valores son

negativos. En cambio, para el área cubierta de vegetación son valores entre 0,6 a 1 (Alvarado et al., 2019).

### 3.2 Marco conceptual

**Bosque seco tropical.** El bs-T se ha visto afectado por los factores antrópicos, ganaderas y agrícolas, debido a esto el ecosistema se ha visto afectado en la pérdida de su cobertura en un 4%. También, se presenta un 5% que corresponde algún grado de intervención, por otro lado, en el bs-T del país se ha talado el 90% (Pizano y García, 2014).

El bs-T tiene una biodiversidad única de plantas y animales que se han adaptado a condiciones de estrés hídrico. La vegetación de este ecosistema se caracteriza por ser muy resistentes a las sequías ya que éstas presentan modificaciones físicas en la estructura de sus hojas y de sus cortezas, para tener una estabilidad a lo largo de periodos de sequías (Pizano et al.,2017).

**¿Qué es una estación meteorológica?** Una estación meteorológica es aquella donde se desarrollan mediciones y observaciones de variables atmosféricas con los elementos apropiados para así obtener datos confiables. También con la finalidad de observar el comportamiento de la atmósfera para las diferentes regiones del país (Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (IDEAM, s. f).

Clasificación de las estaciones. Se encuentran nueve estaciones meteorológicas las cuales son:

**Estación pluviométrica (PM):** Esta estación cuenta con un pluviómetro el cual permite medir la lluvia que cae entre dos observaciones consecutivas.

**Estación pluviográfica (PG):** Esta estación mide la duración, intensidad y periodo de la precipitación.

**Estación climatológica principal (CP):** Esta estación permite evaluar más variables como altura de las nubes, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, vientos, humedad, radiación solar, brillo solar y evaporación.

**Estación climatológica ordinaria (CO):** La estación tiene tres elementos que permiten medir las siguientes variables: lluvias, temperaturas extremas e instantáneas.

**Estación sinóptica principal (SP):** Se obtienen datos de nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, la presión atmosférica, temperatura del viento, altura de las nubes, visibilidad, características de humedad, precipitación y temperaturas extremas, estas variables alimentan los modelos globales y locales de pronóstico también los utilizan el servicio de aviación.

**Estación sinóptica secundaria (SS):** La observación se realiza en horas convenientes, las variables que observa son: tiempo atmosférico, nubosidad, estado del suelo, precipitación, temperatura de aire, humedad del aire y viento.

**Estación agrometeorológica (AM):** Realiza observaciones meteorológicas y otras, para observar los posibles cambios que pueden estar relacionados con el cambio de la fenología vegetal.

**Estación de radioonda (RS):** Observa la temperatura, presión, humedad y viento.

**Estación mareográfica (MM):** Esta estación es específicamente para observar la temperatura y salinidad del agua del mar.

## 4. Metodología

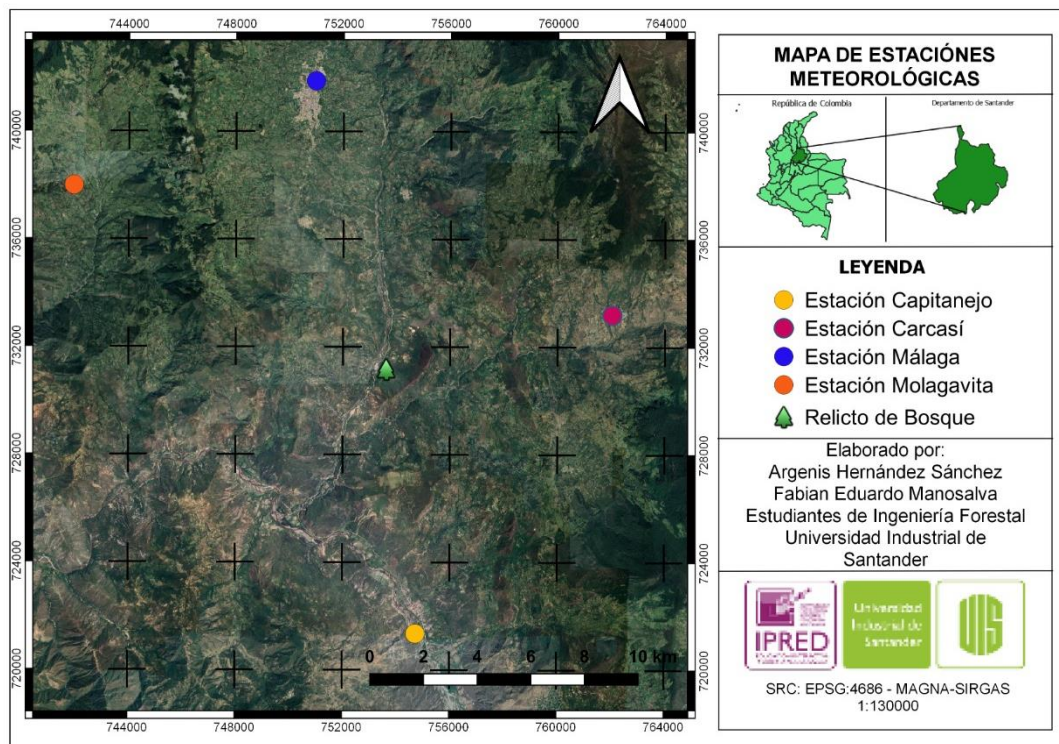
### 4.1 Área de estudio.

El área de estudio se encuentra en la Cordillera Oriental, al suroriente del departamento de Santander en el municipio de Enciso, entre los 1000 m s. n. m. a 1500 m s. n. m. En el área del bs-T se tomó como referencia un relicto ubicado en el predio El Tantano de la vereda Juncal, en el

cual Jaimes & Rosales (2019) realizaron cinco parcelas, instaladas por estudiantes de la Universidad Industrial de Santander, Sede Málaga, en forma rectangular de (50x20), donde evaluaron la estructura y diversidad de fustales y latizales. En cuanto al índice de valor de importancia, las autoras obtuvieron que la especie *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba* (L.), son las dos especies más importantes, este resultado fue un referente para el seguimiento fenológico del bs-T tropical con imágenes multiespectrales, durante el año 2019.

**Figura 1**

*Ubicación de las estaciones meteorológicas*



#### 4.2 Adquisición de la base de datos de las cuatro estaciones meteorológicas.

En la Tabla 2, se presentan las características de las cuatro estaciones implementadas para este proyecto. Estas estaciones se seleccionaron, con la finalidad de poder obtener un promedio de cada estación durante 32 años entre (1988 y 2019) y poder corroborar las épocas o periodos secos y

lluviosos mediante las precipitaciones, para la temperatura se da por la estación de Capitanejo en donde cuenta con variable con un promedio de 20 años entre (2000 y 2009). Los datos fueron solicitados al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Con los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas se identificaron las épocas secas y lluviosas, los cuales permitieron seleccionar las imágenes con las que posteriormente se estimaron los índices de vegetación.

Tabla 2.

*Características de las estaciones meteorológicas*

<b>Nombre de la estación</b>	<b>Número de la estación</b>	<b>Tipo de estación</b>
<b>Carcasí</b>	24030320	Pluviométrica
<b>Capitanejo</b>	24035260	Climática Ordinaria
<b>Málaga</b>	24030950	Pluviográfica
<b>Molagavita</b>	24030340	pluviométrica

**4.3 Procesamiento de los datos meteorológicos.** El tratamiento que se empleó para las bases de datos consistió en un procesamiento de los mismos con la finalidad de obtener los promedios por mes y los promedios por año en precipitación y temperatura. Estos datos para corroborar las épocas o periodos secos y lluviosos para esto, se utilizó el programa Excel.

**4.4 Imágenes multiespectrales.** Las imágenes PlanetScope tienen un tipo de sensor que genera imágenes de tres bandas y de cuatro bandas con filtro NIR; en donde, las imágenes presentan bandas espectrales como la banda roja (B1), verde (B2), azul (B3) y NIR (B4), el ancho de la franja

es de 24,6 km x 16,4 (en referencia altitud de 475 km). Presenta un rango dinámico de la cámara de 12-bit (Coronado y Eduardo, 2018).

Las imágenes se obtuvieron de la plataforma Satellite Imagery and Archive de la página web del proyecto PlanetScope Las imágenes se utilizaron para hallar los índices de vegetación (NDVI, MSAVI y GNDVI) y se procesaron en el software QGIS utilizando las bandas 1: banda roja, 2: banda verde, 3: banda azul y 4: infrarrojo cercano, estas imágenes tienen una resolución de 3 x 3m.

**4.5 Trabajo en campo.** El trabajo en campo consistió en la georreferenciación de los árboles que presentarán una mayor altura y que presentarán una copa frondosa de las especies *Astronium graveoles* y *Bursera simaruba*.

La toma de las imágenes aéreas se realizó con el Dron DJI mavic pro, el cual presenta las siguientes características, tiene un tamaño pequeño lo cual facilita llevarlo, también presenta dos sistemas de geoposicionamiento, Glonass y GPS, tiene un vuelo a más de 65 kmph, las fotos resultantes tienen 12 MP y los videos a 4k, puede permanecer en el aire por 27 minutos y su cobertura es de 7 km (Hernández, 2021).

El dron estuvo equipado con una cámara multiespectral Parrot Sequoia, de 16 megapíxeles que permite evaluar la cantidad de luz absorbida por las plantas. Por otro lado, tiene dos sensores, un sensor multiespectral el cual está compuesto por unas bandas con diferente resolución, para la banda verde (550nm  $\pm$  40 nm), roja (660nm  $\pm$  40nm), rojo al borde (735nm  $\pm$  10nm) e infrarrojo cercano(790nm  $\pm$  40nm), y el otro RGB color verdadero (Sensefly, 2009).

Con la finalidad de corroborar la información obtenida en las imágenes PlanetScope mediante la implementación de los índices de vegetación, las coordenadas que se tomaron de los árboles permitieron identificar el individuo y la especie que más presentó pérdida de su follaje.

Las imágenes obtenidas de los vuelos VANT nos permitieron identificar las especies del bs-T como es de *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba*, y corregir los puntos obtenidos por el GPS ya que presenta un margen de error (mínimo +/- 3 m), en donde los puntos obtenidos se seleccionaron para la extracción de valores específicos a cada uno de los índices de vegetación NDVI, GNDVI y MSAVI evaluando características específicas, para determinar la respuesta de los índices.

Por último, se indaga con el propietario del predio y estudiantes de la Universidad Industrial de Santander el estado, características y especies del bs-T donde observaron los diferentes cambios que transcurre a este. Esta información recolectada a través de encuestas

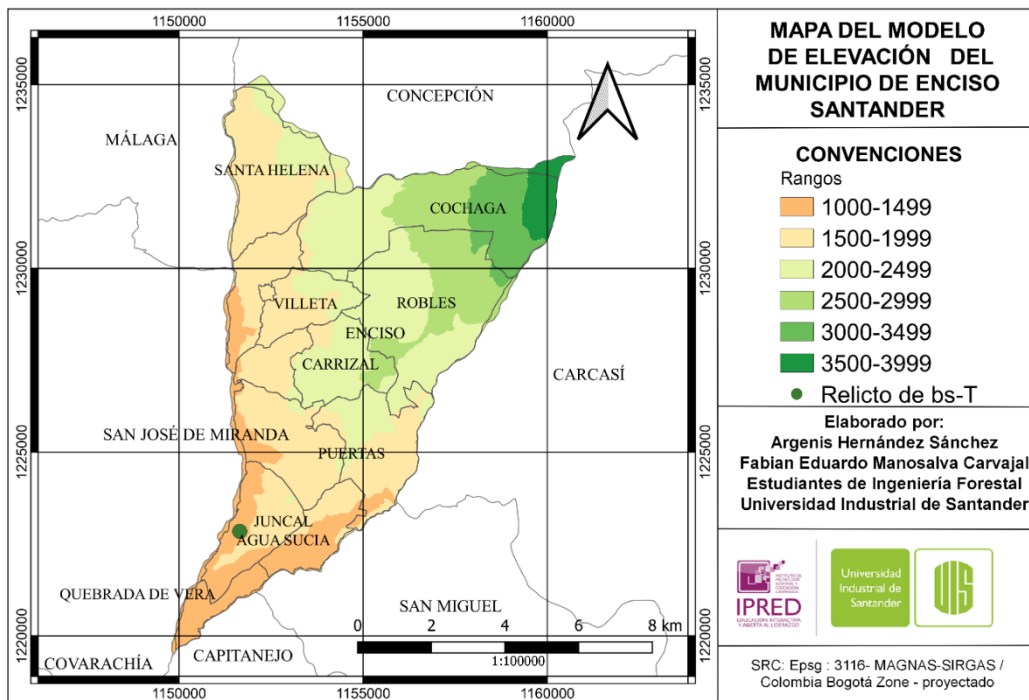
## 5. Resultados

### 5.1 Mapas de identificación del área de estudio

El mapa de la Figura 2 permite identificar los rangos altitudinales en los cuales se presenta la vegetación estudiada, para el caso de este estudio los rangos fueron establecidos cada 500 m, para identificar el área del bs-T este se encuentra entre 1000-1499 m. s. n. m. el cual está representado con el color naranja oscuro.

Figura 2.

*Mapa del modelo de elevación del municipio de Enciso*

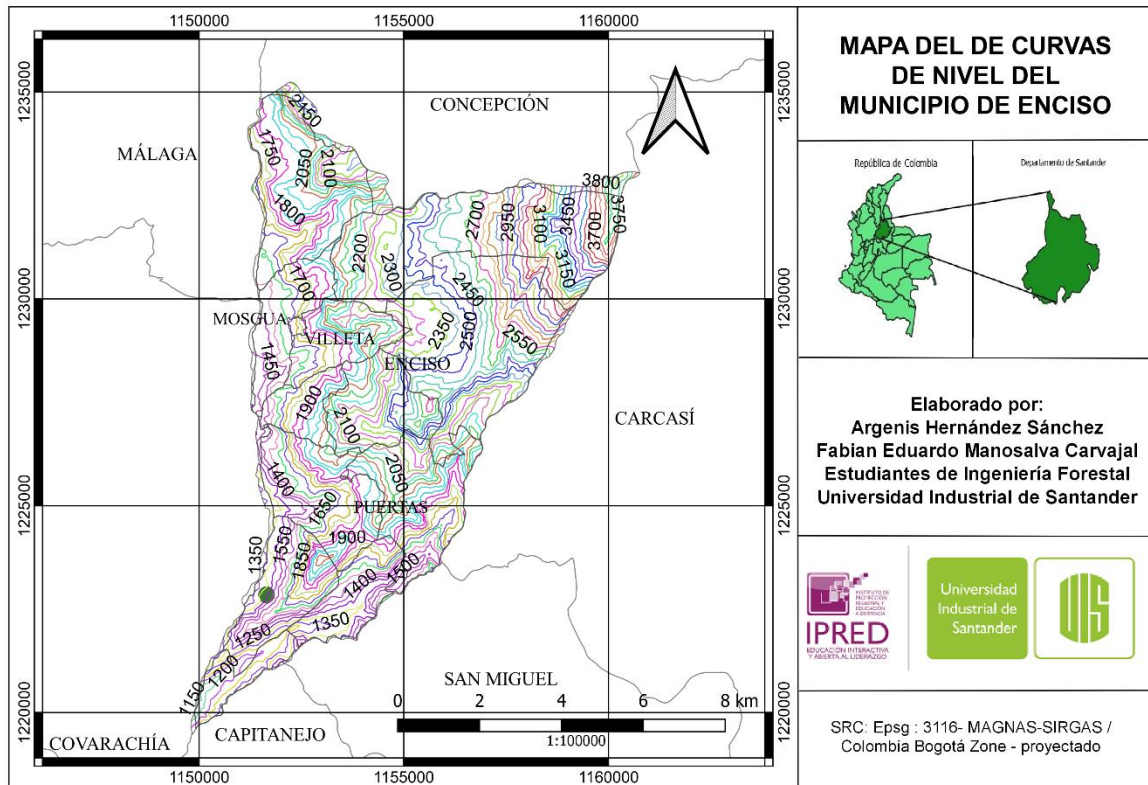


En la Figura 3 mapa de curvas de nivel se identificaron cotas topográficas que presenta en área de estudio.

### Mapa de curvas del municipio de Enciso

Figura 3.

Mapa de curvas del municipio de Enciso



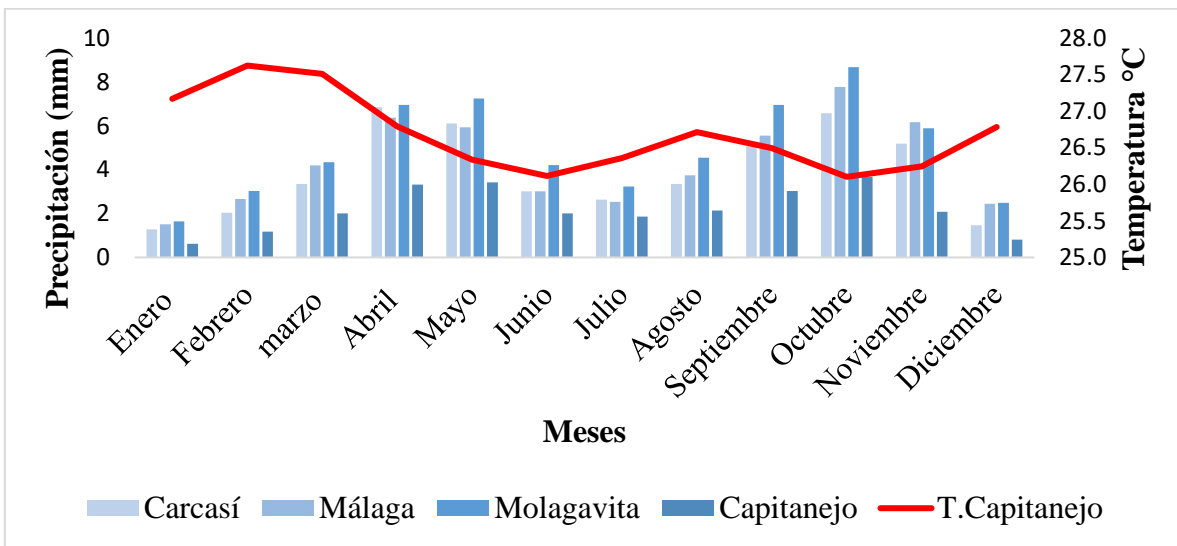
## 5.2. Datos de las variables meteorológicas, obtenidas por estaciones meteorológicas

Como se puede observar en la Figura 4, los meses que presentan épocas secas son; enero, febrero y diciembre, así mismo en esos meses se registra una temperatura superior a la media anual multianual, con valores aproximados a los 27°C, también se puede observar que en los meses que se presentan precipitaciones altas, las temperaturas son más bajas, al parecer estas dos variables están inversamente relacionadas. Las épocas de lluvia son bimodales, se dividen en dos épocas

lluviosas marcadas, que comienzan en el mes de marzo y se prolonga hasta el mes de junio y otra época en septiembre que se prolonga hasta principios de noviembre.

Figura 4.

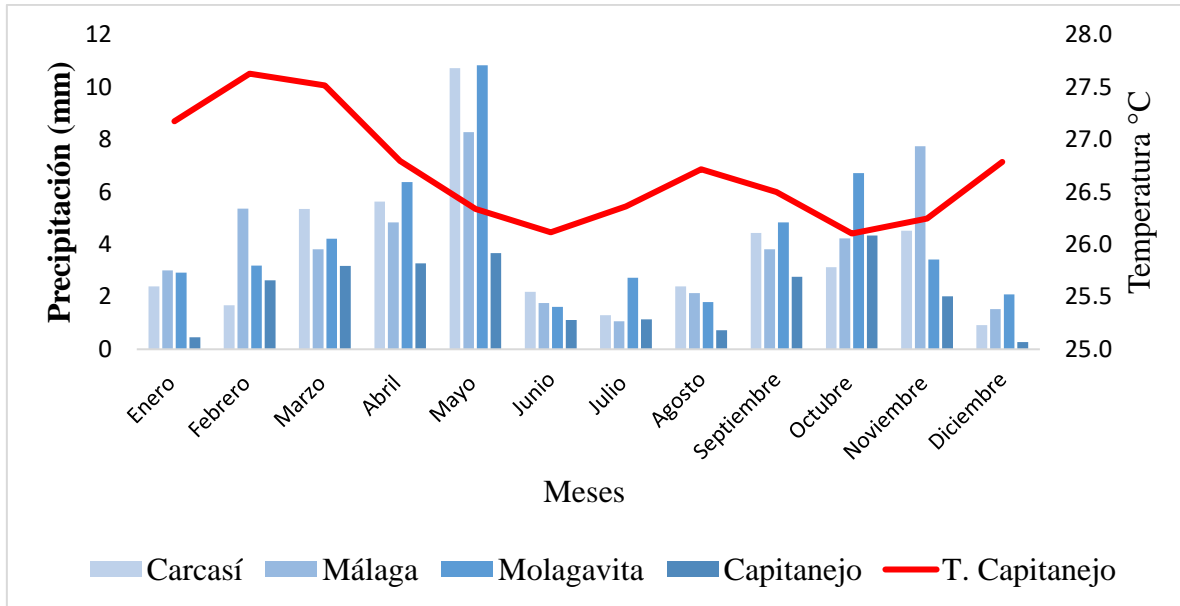
*Gráfico de precipitación con promedio mensual de 32 años con respecto a la temperatura con promedio de 20 años.*



La Figura 5 permite interpretar el comportamiento de precipitación y temperatura durante el año 2019, en donde se registran las condiciones climáticas de cada mes y comportamientos de cada una de las estaciones. La única estación que pudo medir precipitación y temperatura dentro del área de estudio fue la estación ubicada en el municipio de Capitanejo.

Figura 5.

*Precipitación con respecto a temperatura del año 2019*



### 5.3 Selección de épocas para la obtención de las imágenes satelitales, para la aplicación de los índices de vegetación (NDVI, GNDVI y MSAVI).

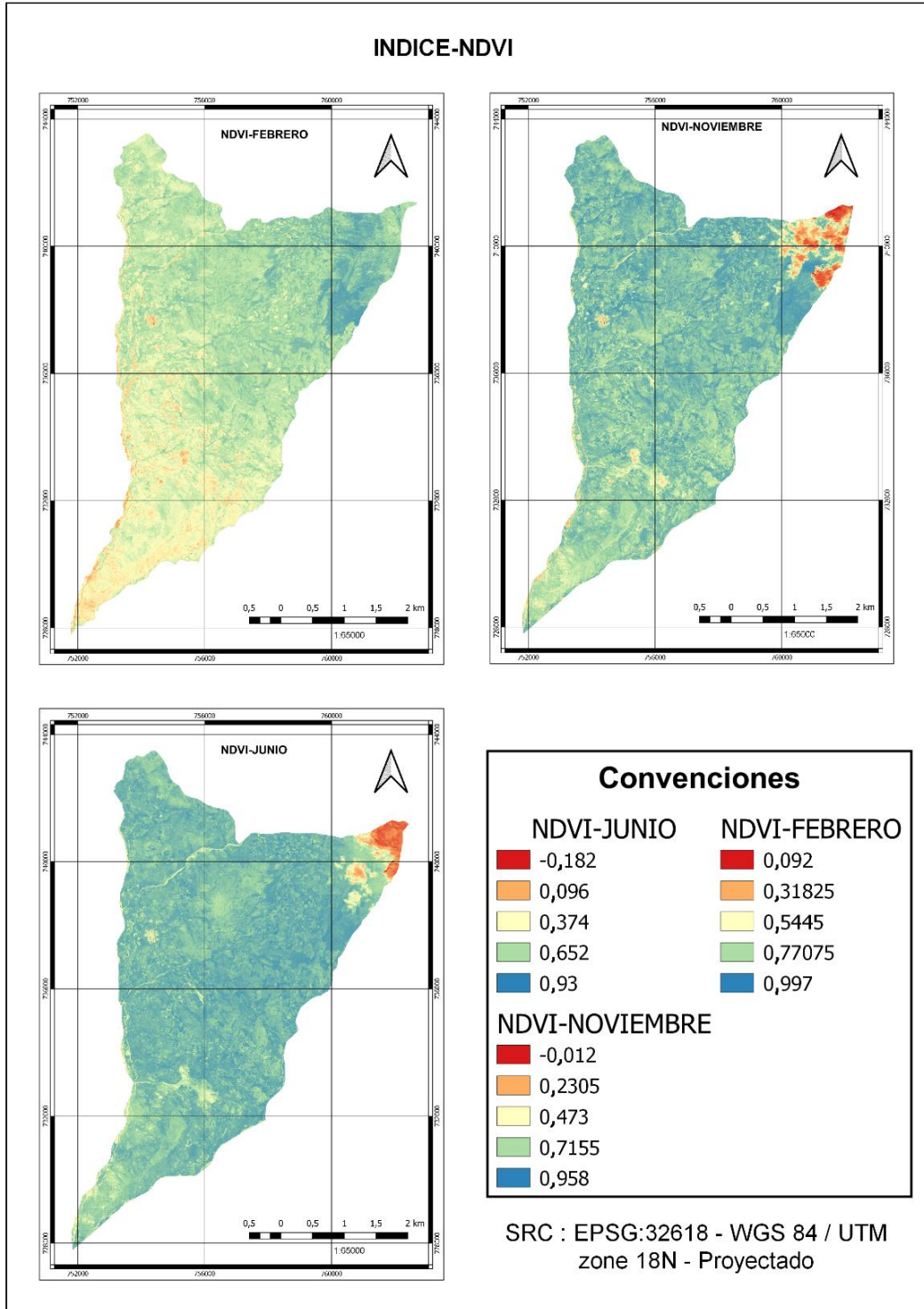
Las épocas que se utilizaron para el análisis de los índices de vegetación fueron seleccionadas de acuerdo a las gráficas de precipitación y temperatura, donde se identificó la variabilidad climática en tres épocas. Los meses seleccionados fueron el mes de **febrero**, en donde la característica de este mes se deben a la prolongación de la época seca que comienza desde diciembre indicándonos un tiempo de sequía prolongado, para la temporada de lluvias se escogen los meses de **junio** y **noviembre** debido a las prolongaciones de lluvia que presenta, para el mes de junio tenemos alta precipitación desde el mes de marzo hasta junio y el mes de noviembre por los altos valores de precipitación de agosto a mediados de noviembre.

## 5.4 Índices de vegetación

**5.4.1 Índice de vegetación NDVI.** Se puede observar que el índice de vegetación del NDVI en las tres épocas seleccionadas presenta diferencias, el cambio más grande se dio en el mes de febrero, durante el cual hubo mayor cambio foliar (pérdida de follaje) esto debido a las condiciones climáticas de precipitaciones bajas y altas temperaturas que se presentan en el lugar. En el mes de junio se observa que la vegetación presenta un estado vigoroso, ya que la vegetación ha recuperado su estado foliar debido a las precipitaciones de los meses anteriores, además en el mes de noviembre las plantas tienen una mayor reflectancia del NIR., también se puede deducir que el mes de junio presenta áreas con mayor cobertura vegetal de reflectancia, que el mes de noviembre esto debido a que en el mes de junio se representan los cultivos transitorios, que se encuentran en desarrollo tales como maíz, tabaco, frijol entre otros estos dados en el municipio de Enciso (Alcaldía Municipal de Enciso en Santander, 2020).

Figura 6.

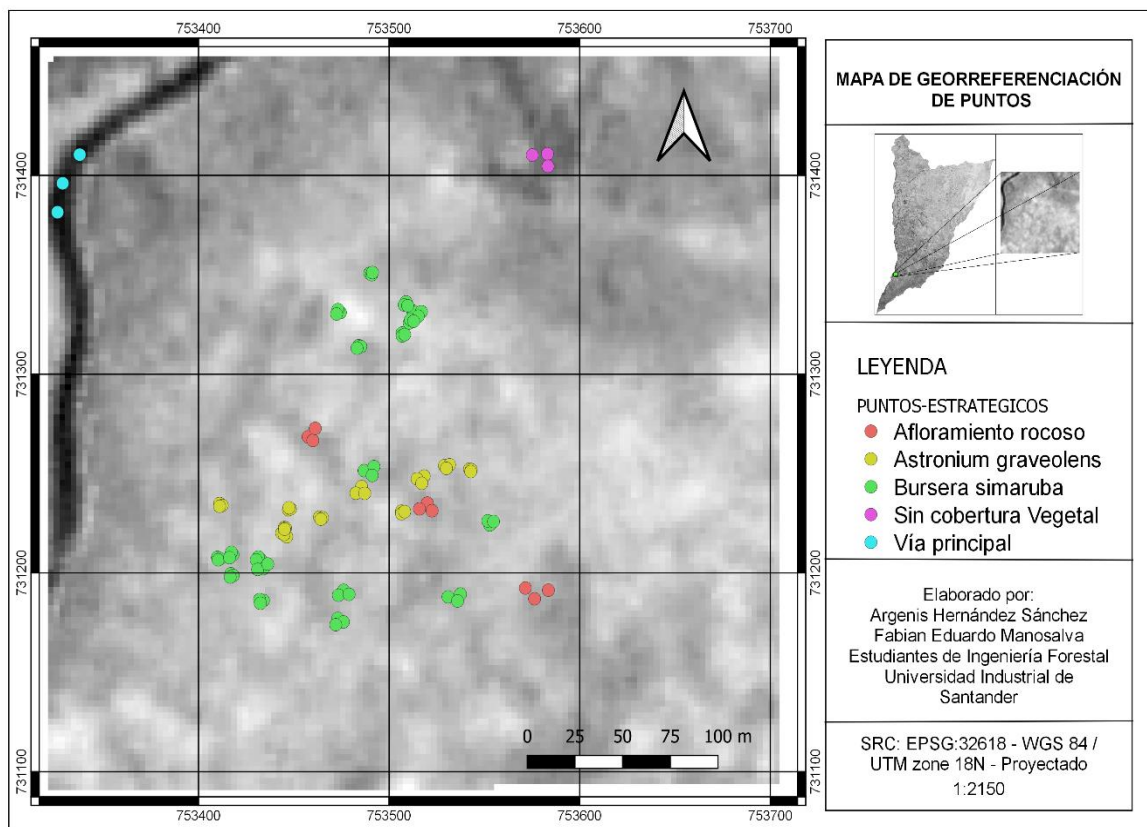
*Índice de vegetación NDVI*



Como se muestra en la Figura 7, se obtienen los puntos de muestreo estratégicos de las coberturas de la tierra en donde los puntos amarillos y verdes corresponde a los registros de las especies *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba*, los otros puntos en el mapa corresponden a afloramientos rocosos, suelo desnudo y vías, con estas localizaciones se tomaron datos para los análisis de los índices de vegetación NDVI; GNDVI y MSAVI, buscando la relación y comparación de estos (Apéndice C).

Figura 7.

*Puntos de muestreo para los índices de vegetación ilustrado por un NDVI a escala de grises.*

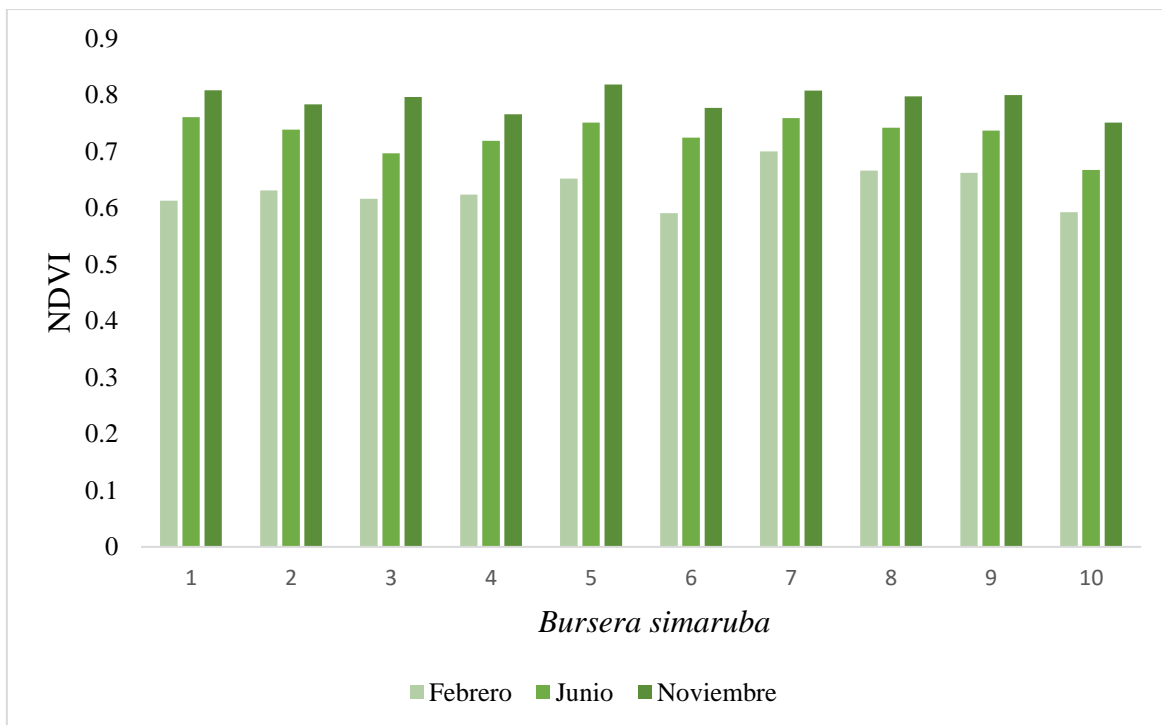


En la Figura 8 el NDVI para *Bursera simaruba* se puede observar que, de las tres épocas analizadas, la que presenta una mayor reflectancia NIR es el mes de noviembre, ya que para esta época los árboles de *Bursera simaruba* han recuperado sus hojas en totalidad debido a las

temporadas de lluvia. Para caso del mes de febrero los individuos de *Bursera simaruba* registran valores más bajos del NDVI debido a la ausencia del follaje por la temporada de sequía, se esperaría que la reflectancia y el valor del índice fuera menor, pues los árboles en su mayoría se encuentran sin hojas en la mayor parte de su copa, sin embargo, este mes arroja valores altos de reflectividad esto se debe a que esta especie se encuentra en la parte superior del dosel en donde pese la pérdida de hojas el sensor logra captar valores de reflectancia del sotobosque (Apéndice H).

Figura 8

*NDVI de la especie Bursera simaruba*

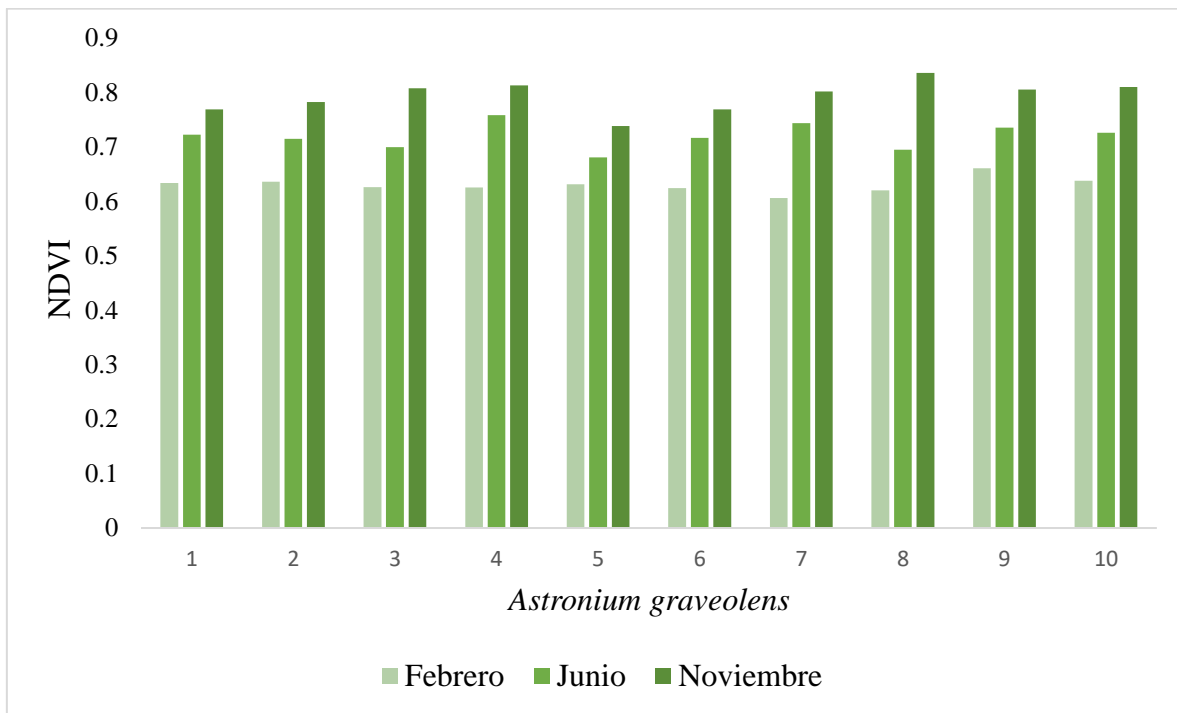


En la figura 9 el NDVI para la especie *Astronium graveolens*, presenta similitud con la especie *Bursera simaruba* en la pérdida y recuperación del follaje. La especie *Astronium graveolens* presenta valores más altos de reflectancia que la especie *Bursera simaruba*, la especie *Astronium*

*graveolens* es más tolerante a la sequía por lo que su proceso de defoliación se da en un tiempo más prolongado, mientras que la recuperación del follaje se da en un tiempo más corto en comparación de la especie *Bursera simaruba*.

Figura 9.

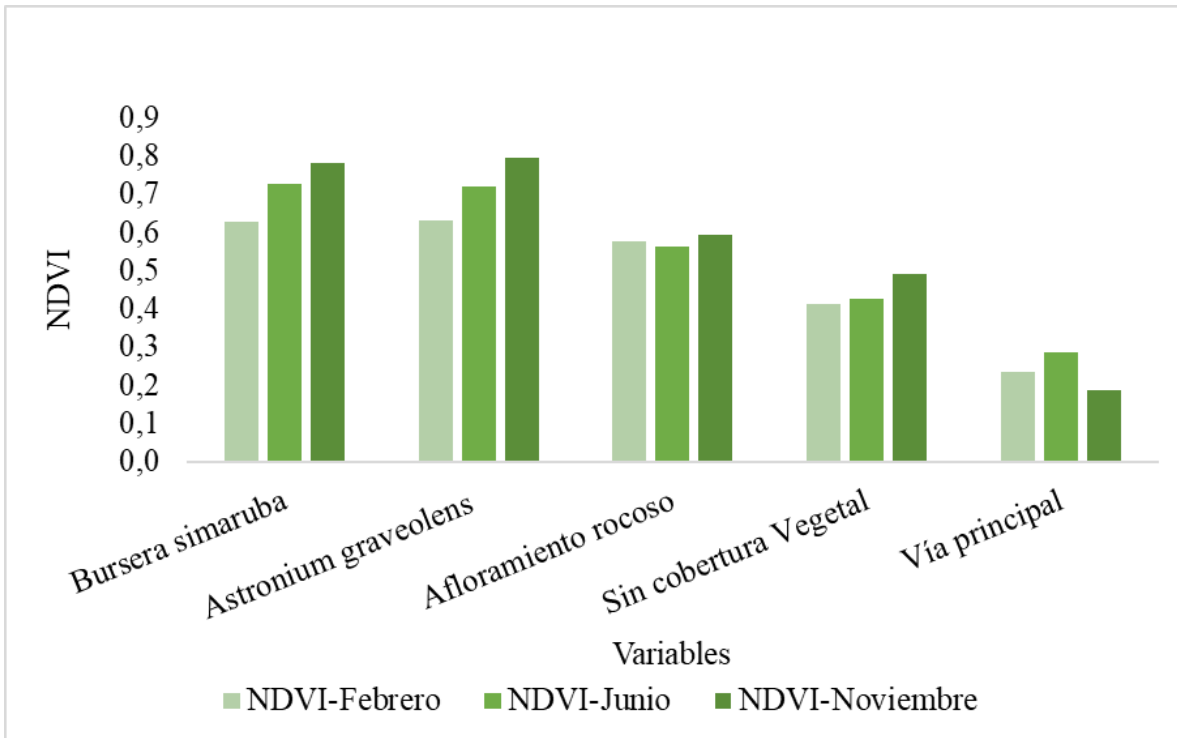
*NDVI de la especie Astronium graveolens*



En cuanto a la Figura 10 la especie *Bursera simaruba* y *Astronium graveolens*, al realizar el promedio de los individuos de cada especie encontramos una similitud. Al analizar el comportamiento de las áreas sin cobertura, en el caso del afloramiento rocoso arroja valores altos los cuales no entran en concordancia con los rangos que implica el NDVI no obstante esto se puede presentar a que los afloramientos rocosos tengan una cobertura de vegetación superficial esto debido a la deposición del follaje en estos lugares (Apéndice I), donde área rocosa, sin vegetación y cuerpos de agua entre otros se encuentran entre los rangos -1 a 0,5.

Figura 10.

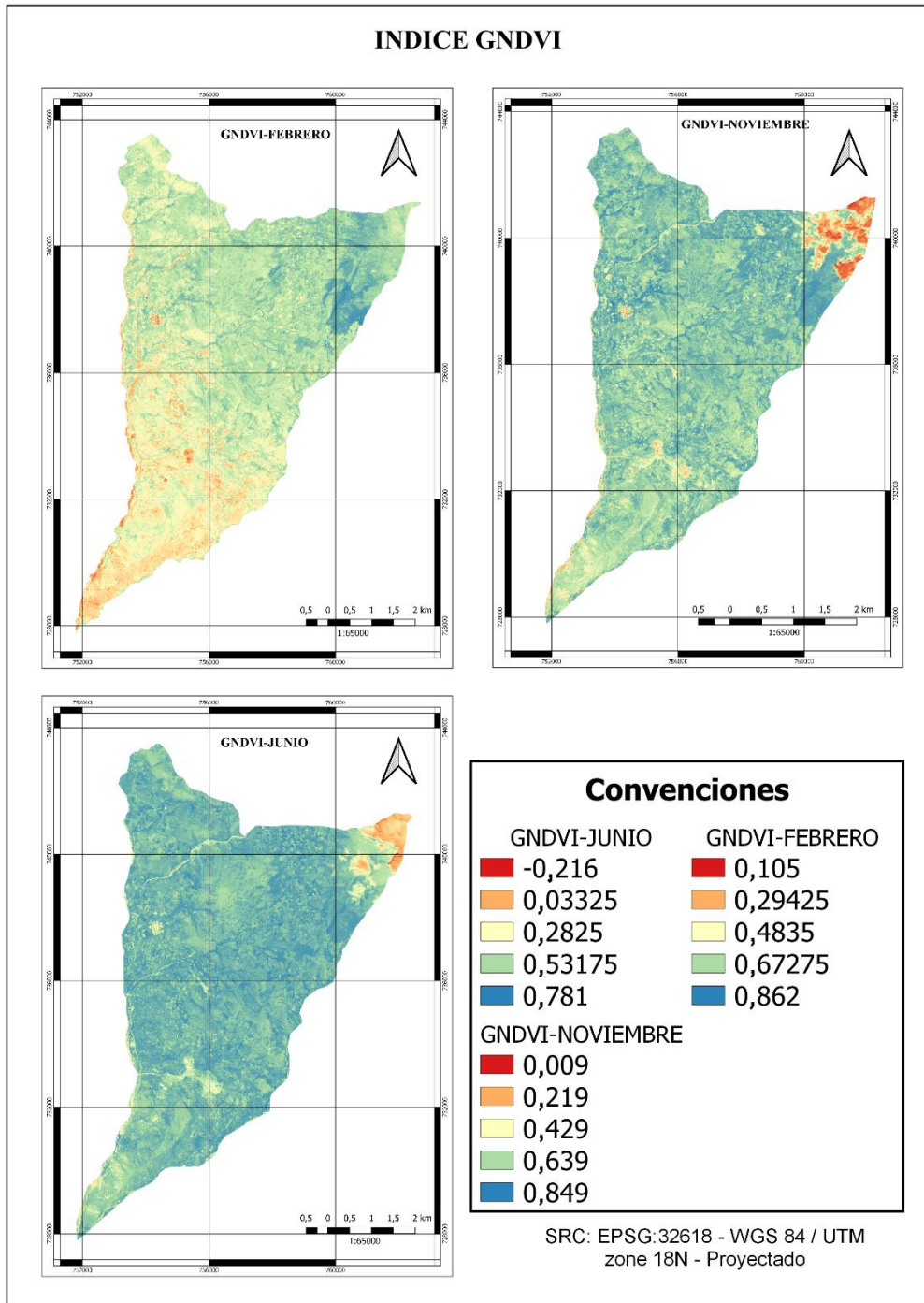
*Índice de vegetación NDVI en diferentes coberturas del área de estudio*



5.3.2 Índice de vegetación GNDVI.

Figura 11.

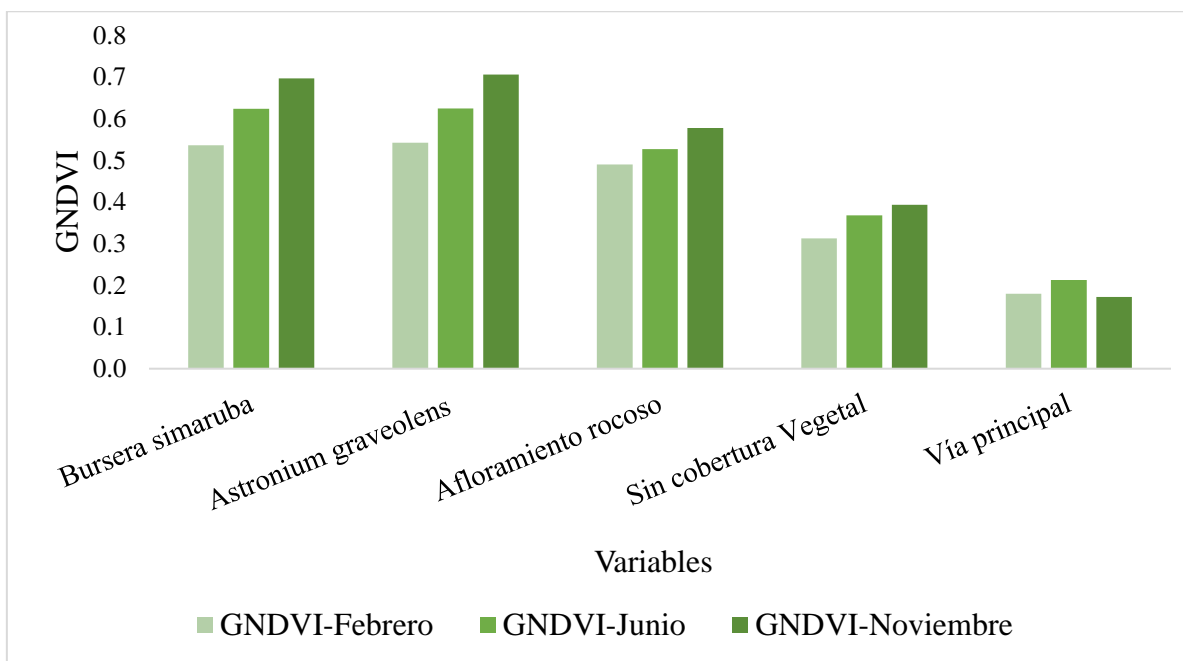
Índice de vegetación GNDVI



En la Figura 12, se observa que el GNDVI para las especies *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba* es similar a lo largo del año y presenta valores más bajos en comparación con el NDVI y MSAVI por consiguiente este índice se ajusta un poco más a las coberturas sin vegetación, como son los afloramientos rocosos coberturas sin vegetación y la vía.

Figura 12.

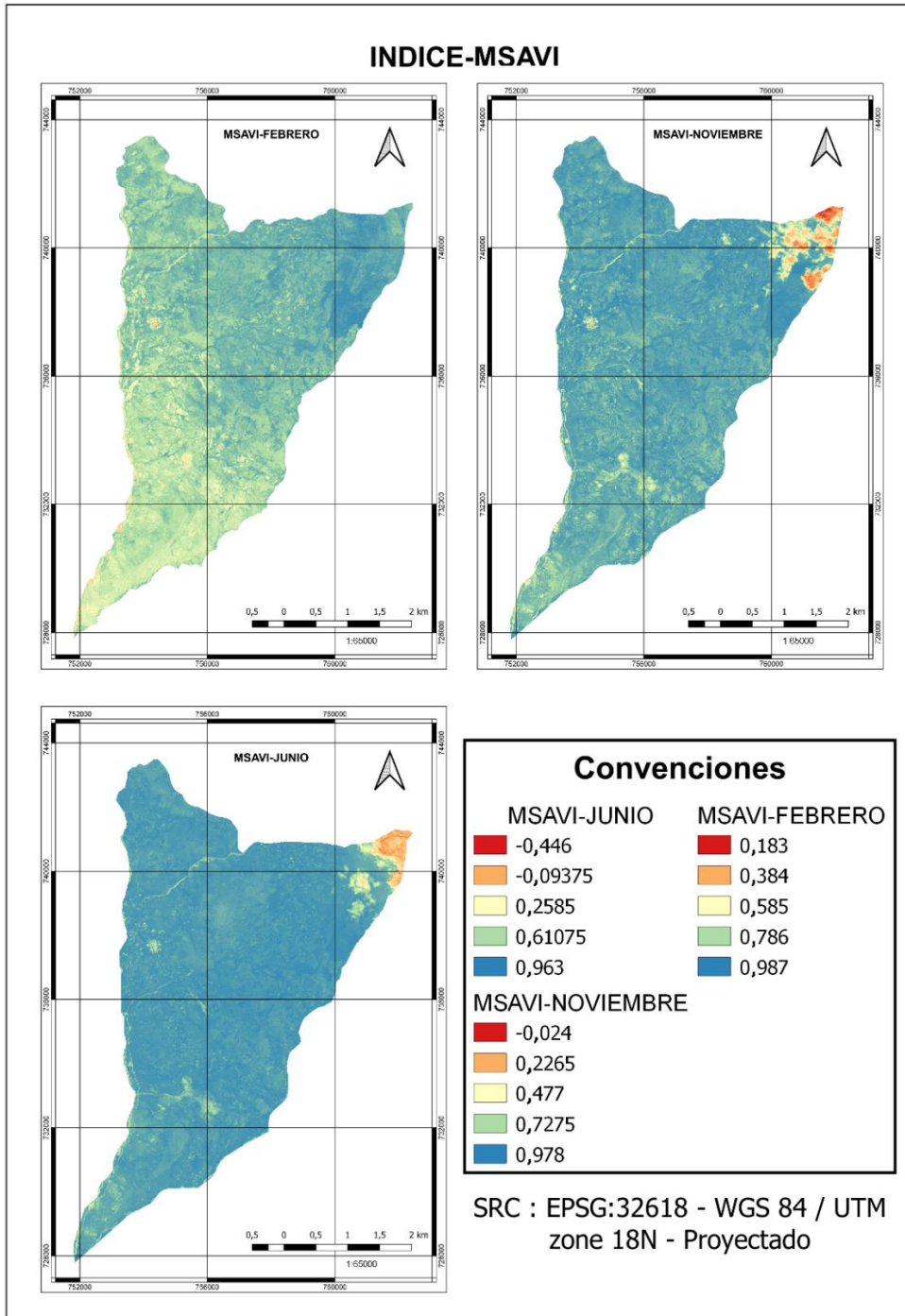
*Variables del índice de vegetación GNDVI*



5.3.3 Índice de vegetación MSAVI.

Figura 13.

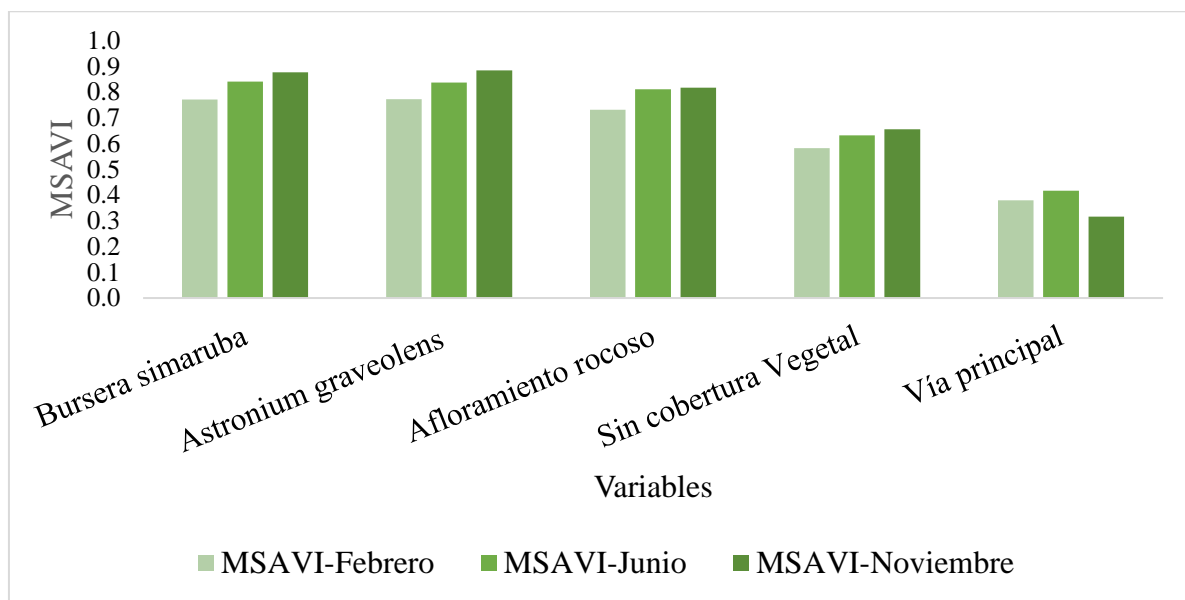
*índice de vegetación MSAVI*



En la Figura 14, MSAVI evidencia para las especies *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba* valores altos con relación con el NDVI y GNDVI, de igual forma sucede con las otras coberturas como el afloramiento rocoso, sin cobertura vegetal y vía principal en donde el MSAVI minimiza el efecto del terreno sin vegetación.

Figura 14.

*Variables del índice de vegetación MSAVI*



Se deduce al comparar las características de cada índice de vegetación implementado que cada uno presenta una característica específica, donde se precisa que el NDVI se ajusta mejor a las coberturas de la tierra, el GNDVI arroja valores menores que el NDVI, pero tiene más concordancia con las coberturas sin vegetación y el índice MSAVI toma mejor los valores de cobertura vegetal ya que aumenta el rango dinámico y minimiza la influencia de las áreas sin vegetación.

### 5.3.4 Temporalidad anual de 2019

La Figura 15, muestra mapas del NDVI para cada uno de los meses, ya que este índice representa mejor las coberturas de la tierra, se aplica para el año 2019 donde se observa cambios en los diferentes meses del año.

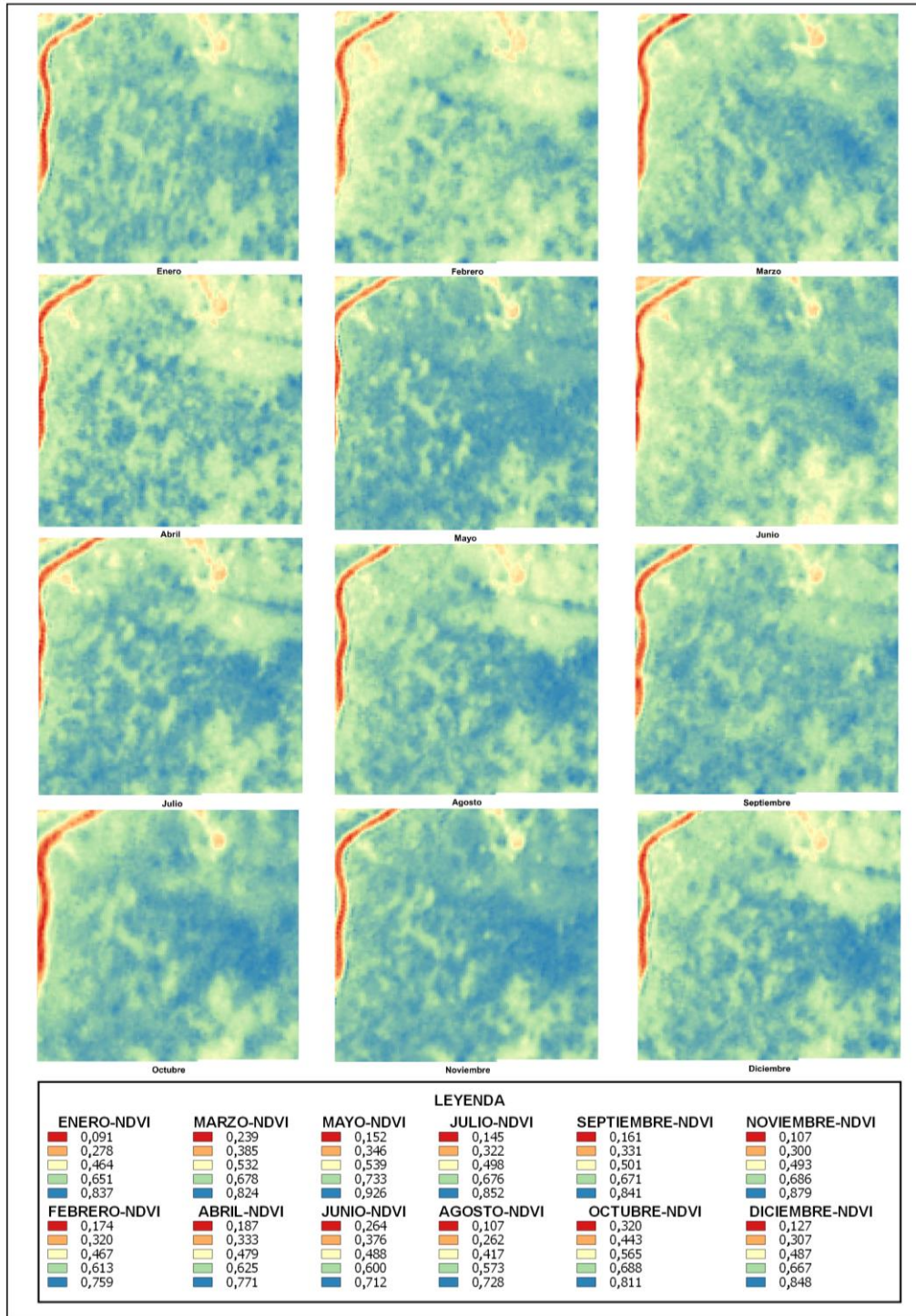
Mediante el análisis de la variabilidad climática se observaron cambios mensuales en bs-T, teniendo en cuenta las temporadas climáticas (periodos de lluvia: caracterizados por alta precipitación y periodos de sequía con alta temperatura y baja precipitación).

Las temporadas secas se presentan del mes de diciembre a febrero donde se observan cambios mensuales, por ende, en este periodo de sequía el mes que representa mayores cambios es el mes de febrero, ya que es donde las especies vegetales están en un estrés hídrico mayor que los meses anteriores y por consiguiente pierden las hojas presentando menor capacidad para almenar la energía necesaria para la floración.

Las temporadas lluviosas se establecen en dos épocas una primera entre el mes de marzo al mes de mayo periodo durante el cual comienzan la recuperación del follaje de tal manera que para el mes de junio la vegetación presenta un estado foliar vigoroso, entre los meses de junio y agosto no se evidencian cambios drásticos en el follaje. Para la segunda época, lluviosa entre agosto y octubre la cobertura vegetal presenta una buena vigorosidad para el mes de noviembre en donde este mes se realiza transición de las épocas de lluvia a sequía. Los anteriores cambios, se representan en el NDVI, este instrumento cuantitativo, indica la vitalidad y contenido foliar de la vegetación.

Figura 15.

*Índice NDVI con mensuales del 2019 temporalidades*



#### 5.4 Recolección de información del bs-T.

La recolección de información se realiza a través de una encuesta en donde se corrobora el comportamiento de las especies del bs-T

Para la pregunta ¿Cuál es la frecuencia con la que visita el Bosque seco tropical y cuánto es el periodo de tiempo que interactúa en dicho bosque?, un 20% interactúa permanentemente con el bosque y un 80% periódicamente al año.

¿Cómo ha observado el proceso de pérdida de hojas en las especies arbóreas en un estado periódico o simultáneo?

El 100% indican que hay especies con pérdida total de hojas del follaje, perdidas del follaje en mayor proporción no total y pérdida baja.

¿Cuáles especies ha visualizado que tienden a perder las hojas con qué intensidad y en qué épocas del año?

Pérdida total: El 100% *Astronium graveolens*(tibijaro) y *Bursera simaruba* (resbala mono) con un 60% *Buchenavia tetraphylla* (para siempre)

Pérdida en mediana proporción: 20% *Coccoloba lehmannii* (hojarasco) y 20% *Amyris sylvatica* (peracao)

Pérdida baja: El 40 % *Quadrella odoratissima* (olivo)

La pérdida del follaje en un 100% sucede en los periodos durante los meses de (diciembre a febrero) mientras que, la recuperación del follaje comienza con las lluvias en los meses de (marzo a junio) y la conservación del follaje permanece hasta el mes de noviembre.

¿Con respecto a la especie *Bursera simaruba* y *Astronium graveolens* en qué periodo del año ha notado la pérdida y recuperación del follaje?

El 100% indica que la pérdida de hojas se presenta en temporadas de sequía iniciando el mes de diciembre donde comienza a perderlas periódicamente y recuperación en el mes de marzo hasta el mes de mayo.

El 40% indica que con respecto a las dos especies *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba* la pérdida de hojas se realizan periódicamente, pero la especie *Bursera simaruba* presenta una caída de follaje más rápido que la especie *Astronium graveolens* donde esta presenta más resistencia a la sequía y pierde el follaje en un tiempo más prolongado, para la recuperación del follaje la especie *Astronium graveolens* recupera más rápido que *Bursera simaruba*.

Para la pregunta ¿Proceso de la fructificación y floración en que época se presentan? Nos indica que el 100% presenta la floración en el mes de marzo y la fructificación se da con las temporadas lluviosas del mes de marzo a junio y se presenta en ocasiones durante los meses de agosto a noviembre dependiendo de las especies.

## 6. Discusión

La observación que se realizó con respecto a los resultados de pérdida foliar de las especies *Bursera simaruba* y de *Astronium graveolens*, de acuerdo con los índices de vegetación (NDVI, MSAVI Y GNDVI), extraídos de las imágenes PlanetScope el rango se encuentran entre (0,5 y 0,8) indicando que las especies presentan condiciones aceptables de vigorosidad de acuerdo a la escala de interpretación, cabe destacar que las imágenes que se utilizaron cuentan con una buena resolución (3x3m de píxel), permitiendo obtener datos fiables. Maldonado y Zamora (2017) describe que las alteraciones que se presentaron respecto a los valores del NDVI se debieron a las condiciones climáticas, como es la precipitación, temperatura y humedad relativa en donde incide la residencia de la radiación con la asimilación de los sensores de energía lumínica presente durante el periodo de estudio, en nuestro caso se asimilan estas condiciones en donde se tuvo en cuenta a la hora de seleccionar las imágenes satelitales, también recalca que la estructura del bosque influye en el NDVI, para estudio las especies *Bursera simaruba* de *Astronium graveolens* la reflectancia en época que las especies no presentaban follaje se refleja la vegetación que se encuentra en el sotobosque, por ende influyen en los valores de NDVI de las especies.

La aplicación de imágenes satelitales dado su enfoque espacial exhaustivo y su resolución espacial dando temporalidad de las vistas a un mismo píxel, plantea una solución eficiente y de bajos costos (Zhang et al., 2012). Haciendo énfasis en lo mencionado por Zhang et al (2012) se está de acuerdo con lo planteado ya que comparando los estudios de fenología in situ tienen altos costos y debido a esto solo se pueden desarrollar en áreas restringidas, mientras que, las imágenes satelitales permiten entender las dinámicas fenológicas a nivel del paisaje.

García (2015) realizó un estudio sobre agricultura de precisión donde implementó imágenes aéreas, con la finalidad de evaluar la similitud entre índices de vegetación, los resultados que obtuvo referente al NDVI y al GNDVI fueron similares en sus datos, por otro lado, al comparar los datos de nuestro proyecto con los de García (2015), se encontró que los valores fueron diferentes entre NDVI y GNDVI en donde el NDVI presentó valores más altos que el GNDVI, en comparación, para el caso de García (2005) la similitud de los datos en estos índices se puede representar en que las imágenes utilizadas tienen mayor resolución de 520 a 920 nm y por consiguiente define más los objetos y se obtiene mayor información. Las imágenes implementadas en nuestro proyecto cuentan con una resolución 3 x 3 m, en cada pixel, por consiguiente, no pueden discriminar exhaustivamente las coberturas.

Alvarado et al., (2019) infiere en la importancia del uso de la teledetección y de las imágenes satelitales, ya que permite realizar monitoreo de las diversas etapas de los cultivos, no solo se está utilizando la teledetección para cultivo sino para el diagnóstico de proyectos de reforestaciones y plantaciones forestales. Como es el caso de la implementación de las imágenes multiespectrales para el análisis sobre las fenofases de las especies del bs-T, lo cual ha permitido la identificación del comportamiento del follaje de algunas especies y han servido como indicador sobre las épocas en que la vegetación pierde y recupera su follaje. En el caso de este proyecto las imágenes satelitales y aéreas han permitido observar detalladamente el comportamiento del bs-T.

## 7. Conclusiones

La distribución de los elementos meteorológicos a lo largo del año determina cambios considerables en la fenología foliar de las especies asociadas al bs-T.

Dentro del bs-T se identificaron dos especies forestales *Astronium graveolens* y *Bursera simaruba*, las cuales sobresalen de las demás especies por su comportamiento fenológico foliar representando una pérdida total del follaje, en el caso de las demás especies estas tienden a presentar cambios y pérdidas en el follaje en menor proporción.

Mediante la aplicación de los índices de vegetación, NDVI, GNDVI, MSAVI se determinó el comportamiento fenológico, dentro de los rangos de reflectancia en donde estos presentaron diferencias para cada cobertura de la tierra.

Las imágenes satelitales utilizadas de PlanetScope son de gran ayuda ya que cuentan con una alta resolución espacial de 3x3m en donde cada píxel muestra información detallada del área de estudio, a través del uso de índices de vegetación es posible tener una aproximación sobre las fenofases en el bs-T.

## **8. Recomendaciones**

Para el tratamiento de los datos meteorológicos se recomienda completar los datos faltantes de las estaciones, por medio de métodos como regresión lineal, método de proporción normal entre otros. Los cuales permitirán datos congruentes.

En la selección de las imágenes satelitales tener en cuenta los factores que puedan generar errores y pérdida de información tales como las nubes, la hora de captura, altitud, atmósfera e iluminación buscando que estos valores se encuentren corregidos en la mayor brevedad posible, ya que afecta considerablemente la estimación de los índices espectrales de vegetación, que pueden ser indicadores de la fenología, por lo consiguiente al tener en cuenta estos factores pueden suponer una mejor aproximación a la verdadera reflectancia de las coberturas.

Tener en cuenta el rango de error del GPS a la hora de georreferenciar objetos específicos dentro del área de estudio, para lo cual se recomienda tomar estos puntos con información de las características que presenten y realizar una georreferenciación con imágenes de vehículos aéreos no tripulados o plataformas como Google Earth, ya que estas presentan una mejor resolución y dejan al descubierto detalles del área.

### Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Enciso en Santander. (3 de Julio de 2020). Plan de desarrollo Enciso vive un camino mejor 2020-2023. recuperado de: <http://www.enciso-santander.gov.co/plan-de-desarrollo/plan-de-desarrollo-enciso-vive-un-camino-mejor-2020>.
- Alonso. (13 de Febrero de 2006). *Caracterización de las imágenes de satélite*. Obtenido de [https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node71\\_mn.html](https://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node71_mn.html)
- Alvarado, C., Leandro, A y Sarango, D.(2019). Comparación de índice de vegetación con imagenes Landsat usando la computación en la nube:zona Pampa de Majes-Siguas, Arequipa Perú (periodo jun1984 a Noviembre 2018 ). *Revista de invstigación de fisica* , [https://fisica.unmsm.edu.pe/rif/previo\\_files/2019-1/alvarado2019.pdf](https://fisica.unmsm.edu.pe/rif/previo_files/2019-1/alvarado2019.pdf).
- Bergamaschi. (enero de 2007). *El clima como factor determinante de la fenología vegetal*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/236144951\\_O\\_clima\\_como\\_fator\\_determinante\\_da\\_fenologia\\_das\\_plantas](https://www.researchgate.net/publication/236144951_O_clima_como_fator_determinante_da_fenologia_das_plantas).
- Bernardo, F., Suares, T., Reyes, M., Bellandi, F y Contreras,R., Romero, I. (2005). *El espectro electromagnetico y sus aplicaciones*. Mérida, venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química. Recuperado de [https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro\\_electromagnetico.pdf](https://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/07/espectro_electromagnetico.pdf)
- Brienen, R., Phillips, O., Feldpausch, T.,-Y., Gloor, E., Baker, T., Lloyd, J.(2015). Long-term decline of the Amazon carbon sink. *Nature*.Recuperado de

[https://www.nature.com/articles/nature14283?fbclid=IwAR2IcTaiio6ITYyUMZe\\_XDbxQKFWuLjreI7LnwmXk4q5zDUya-8s-rloTVc](https://www.nature.com/articles/nature14283?fbclid=IwAR2IcTaiio6ITYyUMZe_XDbxQKFWuLjreI7LnwmXk4q5zDUya-8s-rloTVc)

Caparros, J., Rodriguez, G (2020). Estimación de la fenología de la vegetación a partir de imágenes de satélite: el caso de la península ibérica e islas Baleares (2001-2017). *Revista teledetección*. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/159681/Caparros-Santiago?sequence=1>

Casanova, V. (28 de junio de 2012). *Que es el espectro electromagnético*. Obtenido de Astrofísica y física: <https://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>

Cheng, Y., Vrieling, A., Fava, F., y Meronic, M., Marshall, M., Gachok, S. (2020). Phenology of short vegetation cycles in a Kenyan rangeland from PlanetScope and Sentinel-2. *ELSEVIER*, Volumen(248). Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425720303746>

Cleland, EE, Chuine, I., Menzel, A., Mooney, HA y Schwartz, MD (2007). Cambio de la fenología de las plantas en respuesta al cambio global. *Tendencias en ecología y evolución*, 22 (7), 357-365.

Coronado, C., y Eduardo, W. (2018). *Cuantificación espacial de aguas residuales en el corredor minero de madre de Dios al año 2017* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios Perú.

Díaz (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. (tesis posgrado). Universidad Complutense de Madrid.

- Earth observatory . (2000). *Índice de vegetación de diferencia normalizada* . Recuperado de [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php)
- Garden y Forest 3:260. (1890). Recuperado de [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/17-burse2m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/17-burse2m.pdf)
- Gómez, M. (2005). *Índice de vegetación en áreas del bosque seco del noroeste del Perú a partir de imágenes satelitales* (tesis de pregrado). Universidad de Piura
- Gomez, M. (2010). *Fenología reproductiva de especies forestales nativas presentes en la jurisdicción de CORANTIOQUIA. Un paso hacia su conservación Volumen II*. Medellín, Colombia . Recuperado de [https://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/Lists/Administrar%20Contenidos/EditForm/fenologiaII\\_Oct28.pdf](https://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/Lists/Administrar%20Contenidos/EditForm/fenologiaII_Oct28.pdf)
- González, J. (2004). Introducción a la percepción remota. En F.Bautista,H.Gonzáles,J.Palacio yM.Delgado(Ed), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (pág. 456). México.
- Guillén, M., Moreno, B., Quilez, D y Casterad, A. (2017). *Variación espacio-temporal de la fenología del arroz en Aragón a partir de información multiespectral satelital*. Recuperado de [https://digital.csic.es/bitstream/10261/157454/1/QuilezD\\_XVIIICongAsocEspTeledetec\\_2017.pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/157454/1/QuilezD_XVIIICongAsocEspTeledetec_2017.pdf)
- Hernández, J. y Montaner, D. (2009). *Patrones de respuesta espectral, lab, geomática y ecología del paisaje (GEP)*. Facultad de ciencias forestales Universidad de Chile. Recuperado de

<http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>

Hernández, Z. (2019). *Asociación fenológicas y estacionales de volátiles de las resinas de Bursera Simaruba(L.) sarg.y Bursera tomentosa (jacq) triana & planch.*(tesis de pregrado).Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Hernández,P.(29 de marzo de 2021). *Análisis del Dji Mavic Pro*. Recuperado de <https://filmora.wondershare.es/drones/dji-mavic-pro-review.html#:~:text=Ventajas%20del%20DJI%20Mavic%20Pro,de%20caracter%20C3%A2sticas%20y%20opciones%20avanzadas>.

Hopp, R. (1974). phenology observation networks . En R. Hopp, *Phenology and seasonality modeling* (pág. 25).

IAvH. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (26 de febrero de 2021). Ocho empresas que le apuestan a salvar al bosque seco tropical en Colombia . Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado de <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1610-ocho-empresas-que-le-apuestan-a-salvar-al-bosque-seco-tropical-en-colombia?highlight=YTo4OntpOjA7czo2OiJib3NxdWUiO2k6MTtzOjQ6InNlY28iO2k6MjtzOjU6InNlY29zIjtpOjM7czo4OiJ0cm9waWNhbCI7aTo0O3M6MT>

IAvH. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (s.f.). *Instituto de investigación de recursos biológicos*. Obtenido de Instituto de investigación de recursos biológicos: <http://www.humboldt.org.co/en/research/projects/developing-projects/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>.


- IDEAM, Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). *Aspectos nacionales, parte I*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019711/AtlasClimatico1.pdf>
- Lara, B. (2016). Caracterización del comportamiento fenológico de las coberturas vegetales en un sector de la Pampa Deprimida (Argentina): una aproximación utilizando series temporales de NDVI. *Repositorio Institucional CONICET Digital*. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/59325>
- Latke y Rangel (2014). Composición florística del bosque tropical seco del santuario "los besotes" y fenología de especies arbóreas dominantes (Valledupar, Cesar, Colombia). *Colombia forestal*.
- Lorente, I., Gamo, J. L., Gomez, R. Santos, L.-Y., Flores, A., Camacho, L., Galindo, J. (2004). Los efectos biológicos del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 107. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/587>.
- Maldonado, N, y Zamora, G. (2017). *Estimación de la productividad primaria neta en coberturas de bosque seco tropical a partir de imágenes satelitales landsat 8 oli tirs* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Marco, A., Foroughbakhch, R., Jurado, E y Rocha, A. (2002). El cambio climático y la fenología de las plantas. *Ciencia UANL*, <https://www.redalyc.org/pdf/402/40250410.pdf>.
- Meave, L y Williams, G. (2015). *Patrones fenológicos y conservación de bosques neo tropicales*. Obtenido de Patrones fenológicos y conservación de bosques neo tropicales: [https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Meave/publication/281348224\\_Patrones\\_fenologicos/links/55ed3cff08ae21d099c74924/Patrones-fenologicos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Meave/publication/281348224_Patrones_fenologicos/links/55ed3cff08ae21d099c74924/Patrones-fenologicos.pdf)

- Moutahir, H. (2017). *Seguimiento del estado de la vegetación en función de las precipitaciones mediante el uso de índices de vegetación y métricas de fenología de superficie (LSP) en el parque natural del carrascal de la font roja*. Recuperado de [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/71227/1/2017\\_Moutahir\\_etal\\_Iberis.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/71227/1/2017_Moutahir_etal_Iberis.pdf)
- Pacheco, A. (2001). *Efecto de la edad de la hoja sobre el inicio de la caída del follaje en dos especies del bosque tropical seco con fenología contrastante, Bombacopsis quinata (Bombacaceae) y Astronium graveolens (Anacardaceae)*. Costa Rica.
- Peñuelas, J., & Filella, I. (2001). Responses to a warming world. *Science*, 294(5543), 793-795
- Phillips, OL, Aragão, LE, Lewis, SL, Fisher, JB, Lloyd, J., López-González, G., ... y Van Der Heijden, G. (2009). *Sensibilidad a la sequía en la selva amazónica*. *Science*, 323 (5919), 1344-1347.
- Pizano, C., Gonzalez, R., Hernández, A y García, H. (2017). Agenda de investigación y monitoreo en bosques secos de Colombia (2013-2015): fortaleciendo redes de colaboración para su gestión integral en el territorio. *Revista Humboldt, volumen (2)*. Recuperado de <http://revistas.humboldt.org.co/index.php/BEP/article/view/452/441>.
- Pizano, C y García, H. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá, D.C., Colombia. Recuperado de <http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia?highlight=YTo4OntpOjA7czo2OiJib3NxdWUiO2k6MTtzOjQ6InNlY28iO2k6MjtzOjU6InNlY29zIjtpOjM7czo4OiJ0cm9waWNhbCI7aTo0O3M6MTA6InRyb3BpY2FsZXMiO2k6NTtzOjExOjib3NxdWUgc2VjbyI7aTo2O3M6MjA6ImJvc3F1ZSBzZWVhRyb3BpY2FsIjtpOjM7czo4Mzoic2VjbyB0cm9waWNhbCI7fQ==>

- Rosales, M., Jaimes, Basto., E y Suescun, D. (2019). Estructura y diversidad de fustales y latizales en dos bosques naturales tropicales bajo condiciones contrastantes de temperatura y humedad estructura u diversidad de fustales y latizales en dos bosques naturales tropicales bajo condiciones contrastantes de temperatura y umedad: implicaciones para la conservación. (tesis de pregrado). Universidad industrial de Santander, Colombia. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2019/178066.pdf>
- Running, S. y Nemani, R. (1991). Regional hydrologic and carbon balance responses of forests resulting from potential climate change. *Climatic Change*.
- Schwartz, M. D., Ahas, R., & Aasa, A. (2006). Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global change biology*, 12(2), 343-351
- Segura.D.A. (2006). Caracterización del funcionamiento de los ecosistemas ibéricos mediante teledetección. *Revista ecosistemas.volumen(15)*. Recuperado de [Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/540/54017105014.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/540/54017105014.pdf)
- Sensefly. (2009). Parrot sequoiat cámara multiespectral. Recuperado de: <https://www.sensefly.com/es/quienes-somos/colaboradores/>
- White, M., Running, S y Thornton, P. (1999). he impact of growing-season length variability on carbon assimilation and evapotranspiration over 88 years in the eastern US deciduous forest. . *International Journal of Biometeorology*.
- Zhang, X., Friedl, MA, Tan, B., Goldberg, MD y Yu, Y. (2012). Detección a largo plazo de la fenología de la vegetación global a partir de instrumentos satelitales. *Fenología y cambio climático*, 297-320.

## Apéndices

### Apéndice A. Formato para recolectar información en campo.



INGENIERIA  
FORESTAL

**ENCUESTA DEL BOSQUE SECO TROPICAL**

NOMBRE: \_\_\_\_\_ Ocupación \_\_\_\_\_

MUNICIPIO Y VEREDA: \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL PREDIO: \_\_\_\_\_

- 1) ¿Cuál es la frecuencia con la que visita el Bosque seco tropical y cuánto es el periodo de tiempo que interactúa en dicho bosque?
- 2) ¿Como ha observado el proceso de pérdida de hojas en las especies arbóreas en un estado periódico o simultáneo
- 3) ¿Cuáles especies ha visualizado que tienden a perder las hojas y en qué cantidad?
- 4) ¿Como ha observado el proceso de pérdida de hojas en las especies arbóreas y en qué mes tiene mayor incidencia?
- 5) ¿Cuáles especies tienden un mayor cambio en las diferentes estaciones del año (lluvia y sequia) y cuales han sido las consecuencias de estas épocas durante los años?
- 6) ¿Con respecto a la especie *Bursera simaruba* (resbala mono) en qué periodo del año ha notado la pérdida y recuperación del follaje.?
- 7) ¿Con respecto a la especie *Astronium graveolens* jacq (diomate) en qué periodo del año ha notado la pérdida y recuperación del follaje.?
- 8) ¿Cómo observa el proceso de la fructificación y floración y en que época se presentan?

Firma: \_\_\_\_\_

## Apéndice B. Base de datos adquirida del IDEAM

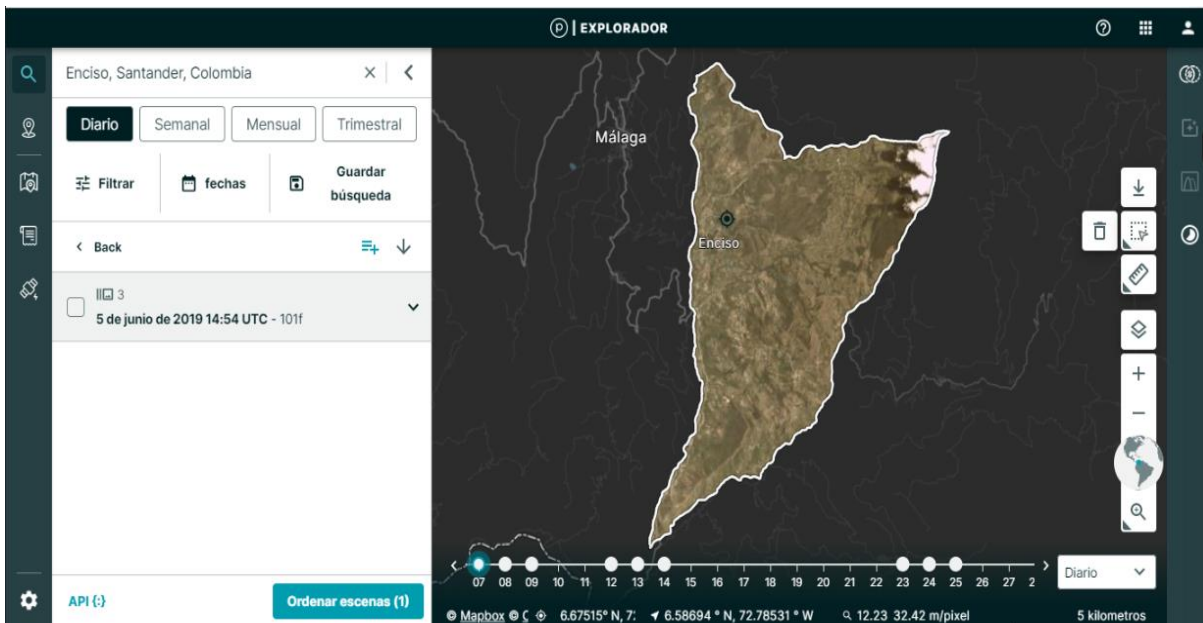
Estación de Carcasí A												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
AÑO	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM
1988	0,69	4,87	2,75	11,86	7,08	2,66	6,40	21,08	16,07	3,05	14,98	1,72
1989	0,84	2,99	4,79	0,96	2,27	1,03	1,12	0,76	1,74	0,79	2,86	3,46
1990	3,00	0,66	1,74	5,08	3,08	2,64	0,28	2,07	0,69	19,62	2,66	1,86
1991	2,68	0,61	4,35	8,00	4,32	4,13	0,90	1,58	5,77	5,19	5,53	0,61
1992	0,10	1,03	0,23	2,07	4,26	2,83	2,32	2,45	4,33	3,00	4,47	1,77
1993	3,26	0,21	3,42	13,57	8,29	1,30	1,10	1,58	7,13	6,52	5,13	1,00
1994	0,23	3,68	0,87	4,20	5,48	1,20	3,13	2,87	7,47	5,29	7,37	0,13
1995	1,13	0,43	1,42	6,34	4,23	5,13	2,68	5,03	9,43	9,03	2,47	1,68
1996	1,87	0,86	4,84	3,03	3,45	8,47	6,68	5,52	3,87	4,87	4,40	0,68
1997	0,74	1,68	2,65	5,67	5,94	2,40	0,84	1,26	7,13	4,32	4,23	0,06
1998	0,55	3,46	3,97	3,97	9,74	3,33	3,00	4,45	7,20	4,35	4,47	2,87
1999	1,19	6,00	3,87	3,00	4,35	2,50	5,39	4,68	7,02	8,77	6,03	1,16
2000	0,84	4,28	1,52	2,83	2,58	2,60	1,90	0,26	9,03	19,23	4,67	0,81
2001	0,06	2,46	2,71	1,37	6,13	1,00	4,65	2,00	4,40	6,16	3,87	0,97
2002	0,55	0,11	3,94	13,47	5,48	4,23	1,55	0,94	4,43	5,39	1,20	4,03
2003	2,48	2,75	6,61	22,33	5,55	5,27	5,10	0,94	4,70	8,52	3,57	2,55
2004	1,65	2,31	1,29	4,97	7,26	4,00	2,68	3,19	3,53	4,68	10,10	0,10
2005	2,03	1,04	0,23	6,07	12,74	5,87	1,29	2,55	4,10	14,16	10,77	0,48
2006	0,06	2,46	3,90	16,10	17,65	1,90	1,77	1,71	1,87	12,77	6,65	3,94
2007	2,76	2,97	8,91	12,98	4,94	2,09	0,94	4,48	2,96	5,56	2,79	0,78
2008	1,90	2,24	2,17	1,61	7,30	1,65	3,18	6,19	4,85	7,08	8,90	0,63
2009	1,86	0,38	8,25	2,72	3,64	3,14	2,25	2,79	2,08	3,70	4,26	0,45
2010	3,23	0,08	0,60	4,77	6,80	4,82	4,89	4,63	7,91	4,46	11,10	2,51
2011	0,35	6,72	4,08	10,61	12,48	4,61	5,04	3,12	4,37	5,53	2,93	1,40
2012	1,25	0,29	6,06	11,63	1,91	1,80	3,10	3,53	2,59	6,70	1,97	1,87
2013	0,27	2,24	1,15	4,80	4,57	2,03	1,50	4,34	3,20	3,08	2,08	1,99
2014	0,13	2,60	1,19	2,39	2,34	0,34	0,75	2,04	3,59	2,56	2,58	0,96
2015	0,48	1,89	1,81	3,32	2,44	1,47	1,64	1,91	1,47	3,39	2,86	0,30

Estación Capitanejo D												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
AÑO	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM	PROM
1988	0,72	1,01	0,22	1,35	3,96	1,19	2,33	3,40	2,10	2,83	3,43	1,68
1989	0,76	1,69	3,04	1,05	3,23	3,01	1,26	1,17	5,09	2,48	1,67	0,90
1990	0,57	0,91	1,85	2,34	1,31	1,45	2,15	1,59	2,58	4,90	1,74	0,75
1991	0,20	0,01	0,63	2,50	3,68	1,12	0,62	0,56	2,56	3,38	2,01	0,34
1992	0,02	0,04	0,15	1,25	3,68	0,92	1,37	2,74	1,25	1,65	2,18	0,77
1993	0,89	0,61	2,11	2,05	4,68	1,00	1,48	0,69	5,01	4,55	1,11	0,46
1994	0,07	2,64	2,32	4,45	3,25	1,19	1,59	2,12	2,88	2,68	4,07	0,32
1995	0,73	0,65	1,31	4,07	2,01	3,35	0,99	3,35	2,58	3,32	1,11	1,51
1996	0,90	0,86	3,36	2,31	2,15	1,58	2,14	2,89	2,93	5,03	0,69	0,59
1997	0,12	2,60	0,64	3,33	5,01	2,68	0,81	0,40	6,58	2,36	2,73	0,67
1998	0,07	2,07	2,95	2,93	2,61	1,52	4,07	0,49	1,74	4,67	2,26	3,43
1999	3,91	0,00	2,05	3,45	1,55	2,03	1,84	3,25	4,57	5,40	2,56	0,29
2000	0,12	2,01	0,34	0,95	3,66	3,49	1,37	1,19	4,96	5,06	0,51	0,45
2001	0,10	0,13	2,14	1,88	3,02	1,89	1,69	1,26	3,19	3,94	2,10	1,50
2002	0,94	1,41	4,64	3,26	2,25	2,48	0,86	1,20	2,74	3,30	1,03	1,04
2003	0,02	1,27	2,96	4,96	1,84	3,38	1,17	3,25	3,64	3,67	1,12	0,66
2004	0,45	0,09	1,68	2,71	3,96	1,07	1,67	0,49	6,21	4,13	4,23	0,10
2005	0,58	0,58	0,16	3,73	4,14	3,03	1,02	1,99	1,44	3,66	2,67	0,20
2006	0,11	0,67	2,73	2,60	4,96	2,19	13,50	2,86	1,63	2,81	2,90	0,85
2007	1,95	1,49	2,26	2,63	3,84	2,33	0,62	2,79	3,23	4,08	2,71	0,58
2008	1,41	1,19	1,01	2,93	3,60	2,44	1,88	4,43	3,00	3,54	2,66	0,13
2009	1,08	0,55	3,15	2,20	3,63	2,30	1,12	2,74	2,41	2,35	2,95	0,74
2010	0,04	0,15	1,47	4,81	4,73	2,95	2,95	4,20	4,68	7,98	2,30	1,49
2011	0,42	4,07	2,21	7,48	4,33	3,04	1,11	4,01	3,20	3,83	3,92	0,41
2012	0,19	0,02	3,81	5,99	2,18	1,78	1,57	2,90	1,32	3,88	1,02	0,06
2013	0,04	1,26	0,63	4,15	5,40	1,99	0,39	4,01	1,53	2,11	1,25	0,51
2014	0,30	4,78	0,76	3,18	2,40	0,91	0,24	1,73	1,48	3,78	1,40	1,08
2015	0,70	0,53	1,52	5,51	0,99	0,50	0,72	1,43	3,01	3,06	1,70	1,19
2016	0,34	0,38	1,25	3,08	6,37	0,69	2,06	1,63	1,38	2,36	1,69	1,63

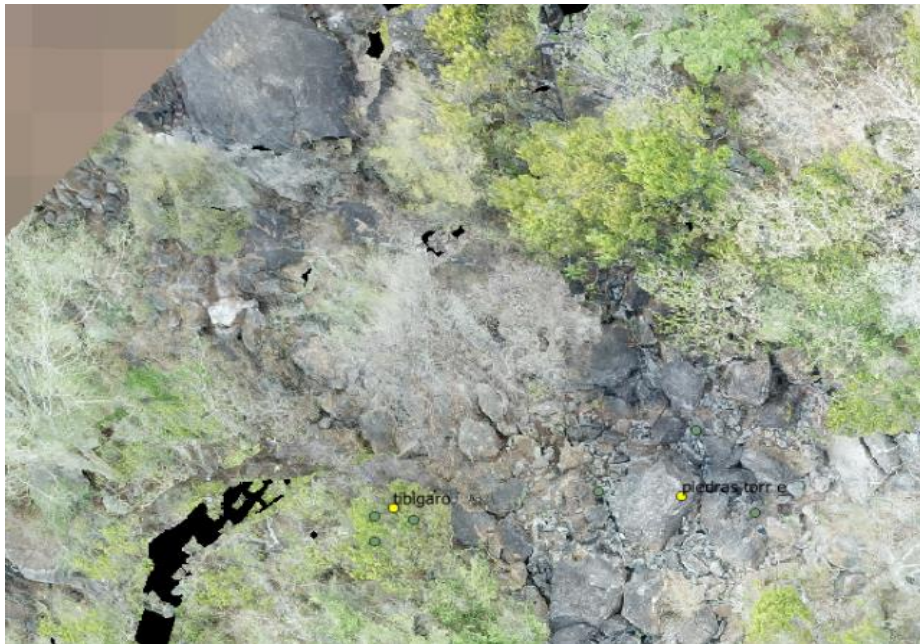
Apéndice C. Puntos de muestreo en campo

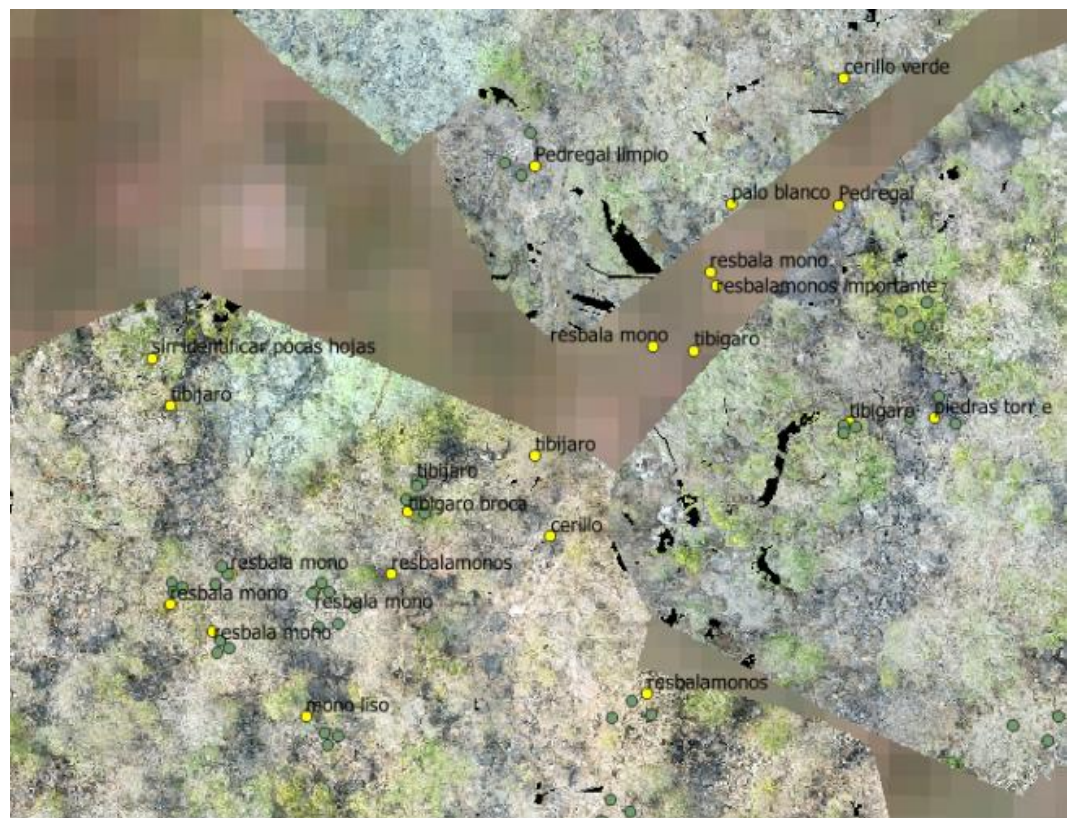
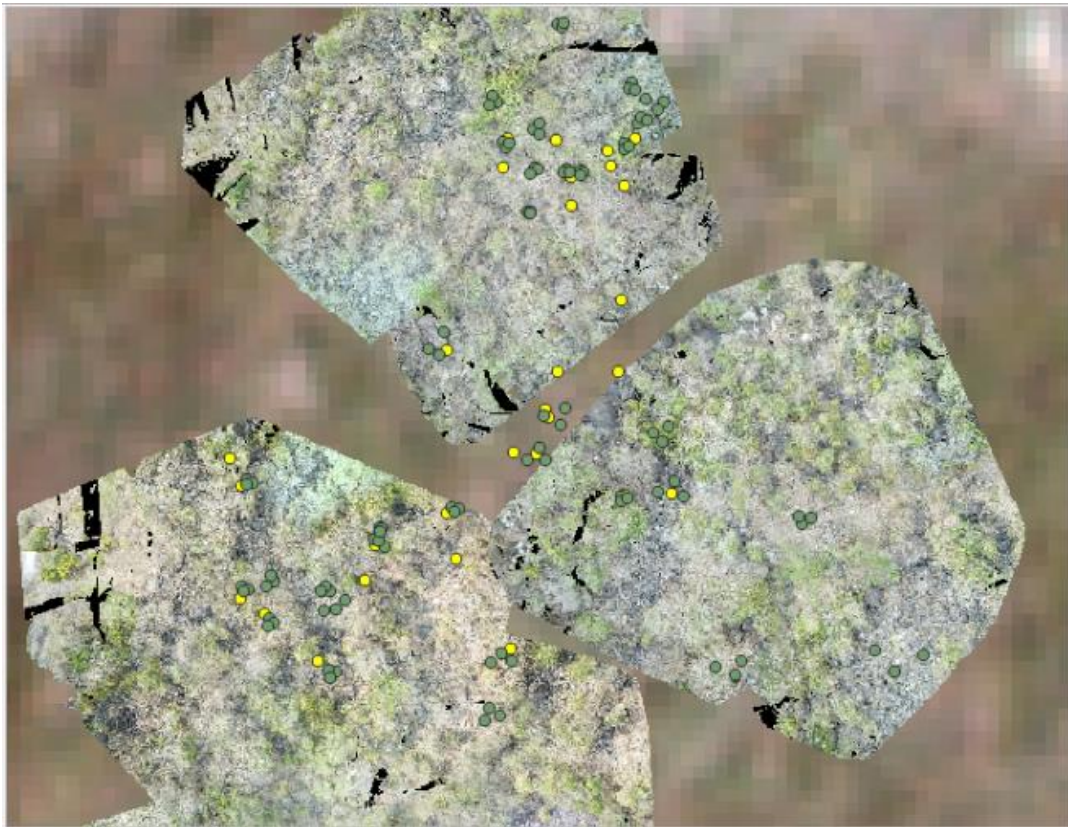
ID	DESCRIPCION	FEBRERO			JUNIO			NOVIEMBRE		
		NDVI	GNDVI	MSAVI	NDVI	GNDVI	MSAVI	NDVI	GNDVI	MSAVI
1	RESBALAMONO1	0.613	0.514	0.760	0.637	0.662	0.861	0.808	0.719	0.894
2	RESBALAMONO2	0.634	0.519	0.776	0.622	0.628	0.840	0.764	0.678	0.866
3	RESBALAMONO3	0.620	0.515	0.766	0.618	0.628	0.842	0.743	0.659	0.853
4	RESBALAMONO4	0.631	0.542	0.774	0.627	0.629	0.850	0.783	0.703	0.878
5	RESBALAMONO5	0.598	0.511	0.748	0.606	0.615	0.833	0.777	0.698	0.874
6	RESBALAMONO6	0.616	0.527	0.762	0.596	0.593	0.821	0.796	0.708	0.886
7	RESBALAMONO7	0.623	0.541	0.768	0.599	0.610	0.836	0.765	0.679	0.867
8	RESBALAMONO8	0.608	0.511	0.756	0.608	0.634	0.848	0.732	0.644	0.845
9	RESBALAMONO9	0.587	0.504	0.740	0.646	0.650	0.857	0.829	0.737	0.906
10	RESBALAMONO10	0.652	0.558	0.789	0.659	0.660	0.858	0.818	0.742	0.900
11	RESBALAMONO11	0.591	0.507	0.743	0.627	0.629	0.840	0.777	0.698	0.874
12	RESBALAMONO12	0.700	0.606	0.823	0.653	0.662	0.863	0.808	0.723	0.893
13	RESBALAMONO13	0.595	0.501	0.746	0.609	0.589	0.823	0.742	0.657	0.852
14	RESBALAMONO14	0.666	0.571	0.799	0.643	0.622	0.852	0.797	0.716	0.887
15	RESBALAMONO15	0.626	0.536	0.770	0.612	0.600	0.833	0.761	0.676	0.864
16	RESBALAMONO16	0.662	0.579	0.797	0.650	0.636	0.848	0.800	0.712	0.889
17	RESBALAMONO17	0.684	0.590	0.813	0.659	0.608	0.837	0.808	0.725	0.894
18	RESBALAMONO18	0.592	0.510	0.744	0.580	0.569	0.800	0.751	0.669	0.858
19	TIBIGARO1	0.633	0.537	0.776	0.622	0.622	0.839	0.769	0.682	0.869
20	TIBIJARO2	0.636	0.545	0.778	0.613	0.617	0.834	0.782	0.697	0.878
21	TIBIJARO3	0.626	0.535	0.770	0.631	0.613	0.823	0.808	0.699	0.894
22	TIBIJARO4	0.625	0.539	0.769	0.646	0.660	0.862	0.813	0.721	0.897
23	TIBIJARO5	0.632	0.541	0.774	0.607	0.576	0.810	0.738	0.658	0.849
24	TIBIJARO6	0.624	0.546	0.769	0.617	0.611	0.835	0.769	0.674	0.869
25	TIBIJARO7	0.606	0.513	0.755	0.634	0.650	0.853	0.802	0.717	0.890
26	TIBIJARO8	0.620	0.541	0.765	0.647	0.650	0.847	0.836	0.746	0.911
27	TIBIJARO9	0.661	0.571	0.796	0.614	0.606	0.820	0.805	0.726	0.892
28	TIBIJARO10	0.638	0.552	0.779	0.639	0.642	0.841	0.810	0.735	0.895
29	AFLORAMIENTO ROSCO	0.577	0.490	0.732	0.562	0.527	0.812	0.592	0.577	0.817
30	SINCOBERTURAVEGETAL	0.411	0.313	0.582	0.426	0.368	0.632	0.490	0.393	0.655
31	VIA PRINCIPAL	0.235	0.179	0.380	0.287	0.213	0.417	0.188	0.172	0.316

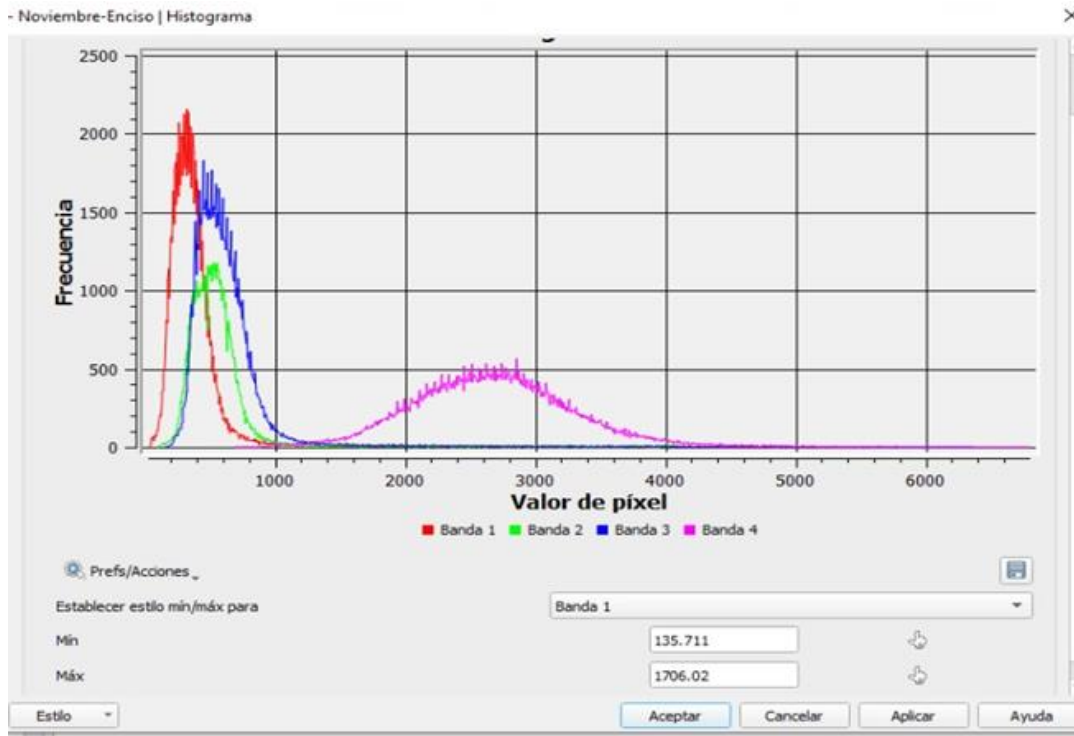
Apéndice D. Adquisición de las imágenes de la página Planet tratamiento de las imágenes



Apéndice E. Tratamiento de las imágenes en QGIS







Apéndice F. Datos de los índices de vegetación

Descripción	NDVI-Febrero	NDVI-Junio	NDVI-Noviembre	Descripción	NDVI-Febrero	GNDVI-Febrero	MSAVI-Febrero
<i>Bursera simaruba</i>	0,628	0,625	0,781	<i>Bursera simaruba</i>	0,628	0,536	0,771
<i>Astronium graveolens</i>	0,630	0,627	0,793	<i>Astronium graveolens</i>	0,630	0,542	0,773
Afloramiento rocoso	0,577	0,562	0,692	Afloramiento rocoso	0,577	0,490	0,732
Sin cobertura Vegetal	0,411	0,426	0,490	Sin cobertura Vegetal	0,411	0,313	0,582
Via principal	0,235	0,287	0,188	Via principal	0,235	0,179	0,380

Descripción	GNDVI-Febrero	GNDVI-Junio	GNDVI-Noviembre	Descripción	NDVI-Junio	GNDVI-Junio	MSAVI-Junio
<i>Bursera simaruba</i>	0,536	0,624	0,697	<i>Bursera simaruba</i>	0,625	0,624	0,841
<i>Astronium graveolens</i>	0,542	0,625	0,706	<i>Astronium graveolens</i>	0,627	0,625	0,836
Afloramiento rocoso	0,490	0,577	0,607	Afloramiento rocoso	0,562	0,577	0,812
Sin cobertura Vegetal	0,313	0,368	0,393	Sin cobertura Vegetal	0,426	0,368	0,632
Via principal	0,179	0,213	0,172	Via principal	0,287	0,213	0,417

Descripción	MSAVI-Febrero	MSAVI-Junio	MSAVI-Noviembre	Descripción	NDVI-Noviembre	GNDVI-Noviembre	MSAVI-Noviembre
<i>Bursera simaruba</i>	0,771	0,841	0,877	<i>Bursera simaruba</i>	0,781	0,697	0,877
<i>Astronium graveolens</i>	0,773	0,836	0,884	<i>Astronium graveolens</i>	0,793	0,706	0,884
Afloramiento rocoso	0,732	0,812	0,817	Afloramiento rocoso	0,692	0,607	0,817
Sin cobertura Vegetal	0,582	0,632	0,655	Sin cobertura Vegetal	0,490	0,393	0,655
Via principal	0,380	0,417	0,316	Via principal	0,188	0,172	0,316

Apéndice G. Toma de imágenes con el vehículo aéreo no tripulados





Apéndice H. Imagen detallada de la especie *Bursera simaruba* a través del dron

**Especie *Bursera simaruba***



**Especie *Bursera simaruba***



Apéndice I. Imágenes tomadas en campo

