



**Cálculo de índices espectrales para el área del Delta del Río San Juan, Bahía Málaga
y Bahía de Buenaventura, a partir del uso de imágenes de PlanetScope en Google
Earth Engine**

Evelin Natalia Cabrera Claros

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

**Cálculo de índices espectrales para el área del Delta del Río San Juan, Bahía Málaga
y Bahía de Buenaventura, a partir del uso de imágenes de PlanetScope en Google**

Earth Engine

Evelin Natalia Cabrera Claros

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Ing. Mcs. Raúl Echeverry Barreto

Línea de Investigación:

Ingeniería computacional aplicada a la geomática

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

Contenido

	Pág.
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción	3
1. Objetivos.....	5
1.1 Objetivo general	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
3. Marco teórico	6
3.1 Sensores remotos.....	6
3.2 PlanetScope	7
3.3 Google Earth Engine	8
3.4 Índices espectrales.....	8
4. Antecedentes.....	11
5. Metodología.....	15
5.1 Área de estudio.....	16
5.1.1 Delta del Río San Juan.....	17
5.1.2 Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga	18
5.1.3 Bahía de Buenaventura.....	18
5.2 Conexión entre GEE y PlanetScope.....	19

5.1	Selección y captura de imágenes satelitales de PlanetScope	20
5.2	Generación de script en GEE	22
5.2.1	Cargue del polígono del área de estudio y recorte de las imágenes	22
5.2.2	Definición de una función para la colección de imágenes	23
5.2.3	Reducción de imágenes	23
5.2.4	Combinación de bandas para resaltar diferentes características.....	24
5.2.5	Cálculo de índices espectrales	24
5.2.6	Generación de leyenda para el NDVI.....	26
5.2.7	Exportación de imágenes a Google Drive	27
6.	Resultados y discusión.....	28
6.1	Notebook para la conexión entre PlanetScope y GEE	28
6.2	Script en GEE para procesamiento de imágenes de PlanetScope	28
	Conclusiones	37
	Anexos	39
	Referencias Bibliográficas.....	45

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Diagrama de flujo de la metodología utilizada</i>	15
Figura 2 <i>Localización del área de estudio</i>	16
Figura 3 <i>Serie de tiempo de las bandas de la colección de imágenes en el área de estudio</i>	29
Figura 4 <i>Cálculo de diferentes tipos de estadísticas para aplicar un reductor</i>	30
Figura 5 <i>Combinaciones de bandas para resaltar características en el área de estudio</i> .	31
Figura 6 <i>Resultados obtenidos para NDVI</i>	32
Figura 7 <i>Resultados obtenidos para NDWI</i>	33
Figura 8 <i>Resultados obtenidos para CMRI</i>	34
Figura 9 <i>Resultados obtenidos para CIRE</i>	35

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Características de las 8 bandas espectrales de PlanetScope</i>	7
Tabla 2 <i>Índices espectrales aplicados en este trabajo</i>	10
Tabla 3 <i>Planchas a escala 1:25.000 Origen Nacional del área de estudio</i>	17
Tabla 4 <i>Identificación de las imágenes de PlanetScope utilizadas para el estudio</i>	21

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Término
--------------------	----------------

<i>GEE</i>	Google Earth Engine
<i>GCP</i>	Google Cloud Platform
<i>SGC</i>	Servicio Geológico Colombiano
<i>NDVI</i>	Normalized Difference Vegetation Index
<i>NDWI</i>	Normalized Difference Water Index
<i>CMRI</i>	Combined Mangrove Recognition Index
<i>CIRE</i>	Red-Edge Chlorophyll Index

(Dedicatoria)

A mi abuelita Nelly, quien siempre me ha expresado su amor y orgullo. Su vida y su amor son eternos.

Agradecimientos

Expreso un especial agradecimiento al Servicio Geológico Colombiano (SGC), instituto técnico y científico del Ministerio de Minas y Energía, y en especial al grupo de cartografía de la Dirección Técnica de Geociencias Básicas y a la Dirección de Gestión de la Información, por otorgarme permiso para el uso del usuario institucional de la plataforma de PlanetScope y por estar dispuestas a colaborar con los insumos necesarios para la realización de este trabajo de grado. Gracias a su autorización se logró contar con información de imágenes satelitales de alta calidad y detalle.

Agradezco también a mi director de trabajo de grado, el profesor Raúl Echeverry quien me impulsó a generar un trabajo de calidad acorde con los estándares de la universidad, y estuvo al servicio de los requerimientos necesarios para que este trabajo fuera llevado a cabo. Sin su seguimiento y observaciones este estudio no habría sido posible.

Al profesor Efraín Laverde quien me enseñó las bases necesarias para el uso de la plataforma de Google Earth Engine, la cual hoy en día considero una herramienta valiosa al alcance de cualquier persona para la adquisición, procesamiento, análisis y presentación de información satelital.

Finalmente, a la Universidad Antonio Nariño por las facilidades y herramientas ofrecidas para la culminación de esta especialización que sin duda será de gran utilidad en mi vida profesional.

Resumen

Este trabajo tuvo por objetivo realizar el cálculo de cuatro índices espectrales para un área de 342 km² en el Delta del Río San Juan, Bahía Málaga y la Bahía de Buenaventura mediante el uso de la plataforma Google Earth Engine. Para realizar el estudio se obtuvieron 21 imágenes satelitales de 2023 de PlanetScope por medio de una conexión a través de API KEY entre PlanetScope y GEE y utilizando como plataforma de almacenamiento Google Cloud Platform.

El resultado del trabajo realizado consiste en la generación de códigos de programación para el cálculo de los índices espectrales NDVI, NDWI, CMRI y CIRE, los cuales se obtuvieron sobre una imagen producto de la reducción de la colección mediante el método estadístico de mediana.

Este trabajo aporta al estudio del procesamiento de sensores remotos en Google Earth Engine y ofrece herramientas técnicas que pueden replicarse en investigaciones futuras, así como contribuir al conocimiento de aplicaciones en teledetección.

Palabras clave: Índices espectrales, Pacífico colombiano, Sensores remotos, PlanetScope, Google Earth Engine, programación.

Abstract

The purpose of this work is to calculate four spectral indices for a 342 km² area located between the San Juan River Delta, Málaga Bay and the Buenaventura Bay using the Google Earth Engine platform. The study was based on the use of 21 PlanetScope satellite images from 2023, which were obtained through the connection PlanetScope and GEE using an API KEY and stored on the Google Cloud Platform.

The result involves the generation of a programming code for computing the NDVI, NDWI, CMRI, and CIRE spectral indices, these were calculated on an image product from reducing the image collection using the statistical median method.

This research contributes to the field of remote sensor processing in Google Earth Engine, providing technical tools that can be replicated in future investigations. It also enhances knowledge regarding applications in remote sensing.

Key words: Spectral Indices, Colombian Pacific, Remote sensors, PlanetScope, Google Earth Engine, Programming.

Introducción

El uso de sensores remotos permite obtener información sobre las características de un terreno sin necesidad de estar en contacto directo con éste. En zonas de difícil acceso como lo es el pacífico colombiano, se constituye en una herramienta de gran utilidad para la identificación, caracterización y monitoreo de elementos bióticos y abióticos. Esto se puede lograr a través de herramientas de fácil acceso como Google Earth Engine que permite realizar el procesamiento de imágenes satelitales utilizando funciones ejecutadas mediante lenguaje de programación JavaScript. Así mismo, otras herramientas como los Notebooks, permiten lograr conexión entre diferentes plataformas como lo son Google Earth Engine (GEE), Google Cloud Platform y PlanetScope a partir de una programación en lenguaje Python.

En este trabajo se buscó explorar las herramientas disponibles en la plataforma de GEE para el procesamiento de imágenes satelitales y el cálculo de índices espectrales a partir de operaciones entre bandas. Adicional a lo anterior, con el lanzamiento de la última constelación de satélites Super Dove, PlanetScope se posiciona como una de las plataformas de adquisición de información satelital de gran detalle, por lo cual se espera que los productos generados sean de gran utilidad y calidad.

Con el fin de explorar estas utilidades, se escogió el área de estudio en parte del Delta del Río San Juan, el Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga y la Bahía de Buenaventura, los cuales corresponden con una porción del pacífico colombiano, región que por sus características geográficas y socioambientales resulta de difícil acceso.

En el proceso exploratorio acerca de información sobre sensores remotos en el área de estudio, fue evidente la falta de documentación sobre el uso de imágenes de Planet Scope, el estudio de la plataforma de Google Earth Engine en Colombia no ha sido tan amplio por tratarse de una plataforma relativamente nueva y que además la combinación de estas dos herramientas era prácticamente nula. Por eso se encuentra en esta área un gran campo de oportunidad para desarrollar un producto que sea de fácil acceso, replicable y escalable.

El código producto del estudio se constituye en un insumo para el conocimiento en teledetección y monitoreo ambiental, con posibles aplicaciones en la gestión de recursos naturales y la toma de decisiones en estas zonas costeras de importancia ecológica.

Se busca que el resultado de este trabajo contribuya a la generación de información a partir del análisis de sensores remotos. Los productos generados pueden ser replicados y escalados a otras áreas de interés y pueden constituir un insumo para su aplicación con otro tipo de imágenes satelitales como Landsat 8, Sentinel 2, entre otros.

En este documento se hace un recorrido general de las características de las herramientas utilizadas y de las características geográficas, geológicas y climáticas del área de estudio. Así mismo se describe de manera detallada la metodología utilizada para generar los códigos que permitieron la realización de los productos descritos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Calcular índices espectrales para el área del Delta de San Juan, Bahía Málaga y la Bahía de Buenaventura a partir del uso de imágenes de PlanetScope en Google Earth Engine.

1.2 Objetivos específicos

- Capturar imágenes satelitales de PlanetScope mediante el uso de API Key y Google Cloud Platform.
- Procesar imágenes satelitales mediante la generación de un código en Google Earth Engine.
- Generar una conexión entre PlanetScope y Google Earth Engine mediante el uso de API KEYS
- Generar imágenes del área de estudio a partir de la combinación y operación entre bandas espectrales en GEE.

3. Marco teórico

A continuación, se describen los conceptos básicos con los cuales se trabajará en el presente documento, el cual se basa en el uso y procesamiento de imágenes satelitales de Planet Scope.

3.1 Sensores remotos

Los sensores remotos son herramientas que se usan diariamente para la obtención de datos que son analizados mediante técnicas de procesamiento digital de imágenes (Jensen, 2015). Fue definida formalmente por la American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) como: “la medición o adquisición de información de alguna propiedad de un objeto o fenómeno, mediante un dispositivo de registro que no está en contacto físico o íntimo con el objeto o fenómeno en estudio” (Colwell, 1983, como se citó en Jensen, 2015).

Existen otras definiciones como la dada por Schowengerdt (1997, como se citó en Correa Valencia, 2018), en la cual determina que:

Un sensor remoto es el conjunto de dispositivos que aprovechan el reflejo de la luz de un objeto en la superficie de la tierra para capturar sus propiedades espectrales, lo cual se logra por medio de mediciones hechas desde aeroplanos y satélites. Estas medidas son datos obtenidos a distancia que quedan capturados en fotografías aéreas o imágenes satelitales. (p. 20)

3.2 PlanetScope

Consiste en una constelación de aproximadamente 130 satélites que capturan imágenes terrestres diariamente. Su lanzamiento inició en el 2014 con la primera generación, la segunda ocurrió en 2019 y la tercera en 2020. Las dos primeras generaciones capturaban imágenes de 4 bandas, mientras que los satélites de la tercera generación, también conocidos como SuperDove los cuales se encuentran actualmente en órbita, capturan imágenes de 8 bandas (Tabla 1) con una resolución espacial de 3 metros (Planet Labs PBC, 2023).

Tabla 1

Características de las 8 bandas espectrales de PlanetScope

Banda	Nombre	Longitud de onda (fwhm)
1	Coastal Blue	443 (20)
2	Blue	490 (50)
3	Green I	531 (36)
4	Green	565 (36)
5	Yellow	610 (20)
6	Red	665 (31)
7	Red Edge	705 (15)
8	NIR	865 (40)

Nota. Información tomada de <https://developers.planet.com/docs/apis/data/sensors/>

3.3 Google Earth Engine

Esta plataforma cuenta con un gran catálogo de datos de teledetección capturados desde 1970 hasta la actualidad; dentro de los datos ofrecidos se pueden realizar búsqueda dependiendo del satélite o tipología de la información deseada. Adicionalmente cuenta con un editor de código el cual es un entorno de desarrollo web para la API de JavaScript de Earth Engine, dentro de este se puede explorar gran variedad de funciones para el procesamiento de imágenes satelitales y la obtención de información producto de su análisis. Una de las ventajas más competitivas que tiene es la posibilidad de procesar Big Data en línea optimizando el almacenamiento de los equipos.

GEE es una plataforma novedosa que ha tenido poco avance en la investigación científica colombiana, por lo cual hay un gran potencial para su desarrollo y aplicabilidad en el territorio colombiano, así mismo, es poca la documentación que se encuentra sobre el uso de sensores remotos como PlanetScope en GEE. Se debe tener en cuenta que en este trabajo se utilizaron las imágenes comerciales obtenidas mediante la cuenta institucional del SGC, sin embargo, gracias a la asociación entre Google y la Norway's International Climate and Forest Initiative (NICFI), en GEE se encuentran disponibles de manera gratuita las imágenes de PlanetScope de 4 bandas y resolución de 4.7 metros.

3.4 Índices espectrales

La fórmula de cada uno de los índices se encuentra en la Tabla 2.

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Es uno de los índices más utilizados en teledetección para evaluar la salud y densidad de la vegetación. Los valores varían entre -1 y 1, donde los valores menores a

cero son ausencia de vegetación, los valores positivos cercanos a cero indican una densidad de vegetación baja o poco saludable, y los valores cercanos a 1 son evidencia de una vegetación densa y saludable. Aunque es un índice que ha sido desarrollado por la comunidad científica, se atribuye su origen a Tucker (1979)

- Normalized Difference Water Index (NDWI): Este índice se utiliza para identificar la presencia de agua en la vegetación y para detectar cuerpos de agua como ríos, lagos, humedales, entre otros, en la superficie terrestre. Al igual que el índice anterior, los valores varían entre -1 y 1 donde los valores negativos corresponden a cuerpos de agua, valores de cero son suelos descubiertos y los valores positivos corresponden a vegetación. Este índice surge a partir del índice descrito anteriormente y fue propuesto por Gao (1996).
- Combined Mangrove Recognition Index (CMRI): Fue desarrollado para identificar coberturas de bosques de manglar y se aplica tomando como base los índices anteriores que se basa en la medida del verdor y el contenido de agua. Los valores de este índice varían entre -2 y 2 donde los valores positivos corresponden a manglares. Este índice es relativamente nuevo ya que fue definido por Gupta et al. en 2018
- Chlorophyll Index Red-Edge (CIRE): Es utilizado en la teledetección para evaluar la concentración de clorofila en las hojas de las plantas, lo anterior puede usarse para estimar la salud de la vegetación. Esta puede ser una herramienta muy útil para uso agrícola, ya que permite evaluar la salud de

los cultivos y la deficiencia de nutrientes. Se tiene información de que fue propuesto en 1996 por Gitelson et al.

Tabla 2

Índices espectrales aplicados en este trabajo

Índice espectral	Fórmula	Autor
NDVI	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	(Tucker, 1979)
NDWI	$\frac{Green - NIR}{Green + NIR}$	(Gao, 1996)
CMRI	$NDVI - NDWI$	(Gupta et al., 2018)
CIRE	$\left(\frac{NIR}{Red\ Edge} \right) - 1$	(Gitelson et al., 1996)

4. Antecedentes

El uso de sensores remotos en el área de estudio ha sido explorado en diversos campos de aplicación, sin embargo, resalta que la mayoría de los estudios realizados han estado enfocados en el estudio de coberturas de manglar.

Los manglares son un tipo de vegetación cuyo ecosistema corresponde a zonas de pantanos intermareales. Están asociados a las riberas de los ríos en las zonas tropicales y subtropicales. Son el hábitat de diversos organismos y por lo tanto son fuente de alimento para especies marinas y terrestres. En Colombia el 80% de los manglares se encuentran en el pacífico (Castellanos-Galindo et al., 2021) y su gran extensión se debe a factores como las tasas de lluvia y la presencia de deltas de clase mundial (Blanco-Libreros & Álvarez-León, 2019).

La cobertura de manglar para la costa pacífica colombiana se ha mantenido relativamente estable durante los últimos 15 años (Mejía-Rentería et al., 2018) por lo cual se estima que este tipo de vegetación es uno de los bosques de marea mejor conservados del neotrópico. Es importante resaltar que las coberturas mapeadas en años como 1966 y 1992 están sujetas a incertidumbre debido a la falta de métodos de alta resolución.

Autores como (Perea-Ardila et al., 2019) proponen una metodología para la cartografía de manglares a escala 1:25.000 en una zona de Buenaventura a partir del uso de sensores remotos (Sentinel 2 y una ortofotografía del 2017) en QGIS. El método propuesto por ellos se basa en análisis espectrales y clasificación supervisada cuyo resultado mostró que los manglares predominan en el área. Posteriormente, Perea-Ardila et al. (2021) realizaron la caracterización espectral y monitoreo de bosques de manglar en el Bajo Baudó ubicado al norte del área de estudio, mediante el uso de imágenes Landsat de 1998,

2014 y 2017. Sus resultados se basaron en la combinación de bandas espectrales y el cálculo de los índices de vegetación NDVI, SAVI y CMRI y hacen la anotación de que la marea tiene una influencia en los valores de los índices, especialmente en las zonas transicionales.

Torres Obregon & García Cortes (2022) también propusieron una metodología para el mapeo de manglares en la Bahía de Buenaventura a partir del cálculo de los índices de espectrales NVDI, SAVI, NDWI, MNDWI y MVI con el fin de calcular índices espectrales y finalmente realizar una clasificación supervisada mediante el uso del plugin Semi-Automatic Classification (SCP) en QGIS.

Selvaraj & Gallego Pérez (2023b) utilizaron imágenes de radar de ALOS-2/PALSAR-2, SRTM, Nasadem y ALOS DSM, e imágenes ópticas de Landsat 5, 7 y 8 para realizar combinaciones multisensor y Machine Learning en Google Earth Engine para la cuantificación del manglar en los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño. (Selvaraj & Gallego Pérez, 2023a) demuestran la reducción de un 6,88% de la cobertura de manglar en dichos departamentos.

Relacionado con lo anterior, un dato interesante a tener en cuenta es que durante la revisión bibliográfica se evidenció que hay poca documentación sobre el uso de imágenes satelitales de PlanetScope en GEE. Más específicamente solo se encontró 1 referencia que enlazaba estos dos tipos de tecnologías en el área de estudio. El estudio realizado por Patel & Kelly (2022), consiste en el mapeo costero automatizado sobre imágenes satelitales de PlanetScope en GEE. Uno de los beneficios que resaltan los autores es el nivel de detalle para monitorear los cambios en la línea de costa producto del aumento del nivel del mar y por las amenazas naturales como lo son los tsunamis.

Adicional a todos los estudios registrados relacionados con el mapeo de manglares, se han aplicado técnicas de teledetección relacionadas con la definición y detección de cambios en la línea de costa. Cifuentes-Ossa et al., (2017) realizaron análisis para la detección del cambio en la línea de costa al norte de Buenaventura en un periodo de 30 años, entre 1986 y 2015, a partir de imágenes satelitales Landsat MSS, ETM+ y OLI TIRS, donde se determinó que la zona que presenta mayor acreción corresponde al Delta del Río San Juan y las zonas que mantienen una tendencia estable son la Bahía de Buenaventura y Bahía Málaga.

En cuanto a la evaluación del fenómeno de erosión costera, Fuentes et al. (2022) demostraron mediante el análisis de fotografías aéreas, imágenes de radar e imágenes ópticas de PlanetScope, que lugares como Bahía Málaga son vulnerables a este tipo de amenaza, frecuente en la costa pacífica.

Así mismo, la geomorfología costera ha sido una de las características del terreno que han sido analizadas en el área mediante el uso de sensores remotos. Álvarez M. et al. (2016) describen las características geomorfológicas y de cobertura vegetal a partir de imágenes de radar y ópticas en el área de la Bahía de Buenaventura. Estos autores describen que geomorfológicamente el área está constituida por colinas y planicies costeras donde se encuentran “planos y llanuras con vegetación halófito, planos de inundación, plataformas intermareales no vegetadas, y en menor proporción de lagunas costeras y playas”. En cuanto a esta aplicación, entidades como el IGAC han desarrollado procesos de estandarización de los procesos de interpretación geomorfológica a partir del uso de sensores remotos (IGAC, 2022).

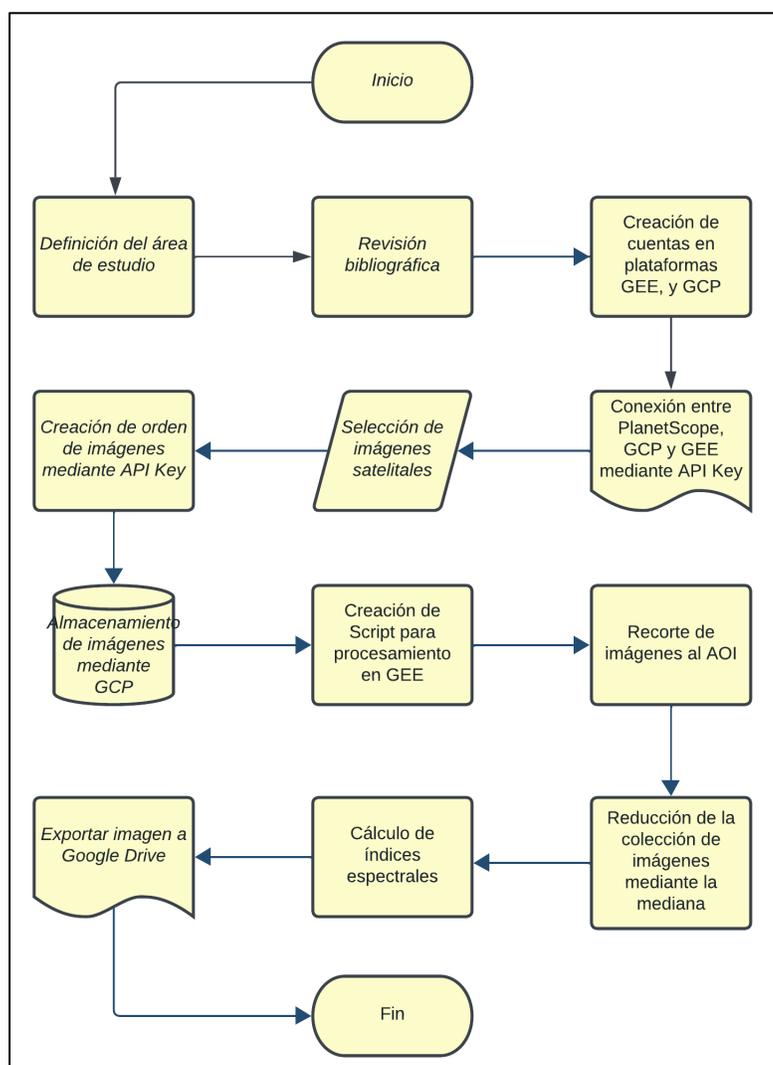
Finalmente, otro de los estudios de sensores remotos encontrados para el área de estudio consiste en la identificación, caracterización y mapeo de las coberturas y usos del suelo en el Pacífico colombiano, donde la Corporación OSSO, (n.d.) realizó un estudio sobre las coberturas y los cambios de uso del suelo utilizando imágenes de Landsat TM de 1986 y 1997 con el software ERDAS.

5. Metodología

La metodología empleada consistió en una serie de procedimientos que permitieron llegar al cálculo de índices espectrales a partir de imágenes de PlanetScope en GEE. En la Figura 1 se ilustra a modo de diagrama de flujo los pasos realizados

Figura 1

Diagrama de flujo de la metodología utilizada



Nota: Diagrama realizado en la plataforma de Lucidchart

En la Tabla 3, se listan las planchas a escala 1:25.000, Origen Nacional en las cual se desarrolló este trabajo:

Tabla 3

Planchas a escala 1:25.000 Origen Nacional del área de estudio

Hoja cartográfica IGAC - 1:25.000 Origen Nacional				
558IIC	558IVC	559IIIA	559IVC	591IC
558IID	558IVD	559IIIB	590IIB	591ID
558IVA	559IC	559IIIC	591IA	591IIIA
558IVB	559ID	559IIID	591IB	591IIC

A continuación, se realiza una descripción de norte a sur de los principales rasgos geográficos del área de estudio.

5.1.1 Delta del Río San Juan

El Delta del Río San Juan es uno de los principales deltas de la costa pacífica colombiana, junto con los deltas del Río Mira y el Río Patía. Está ubicado al norte del área de estudio y es uno de los principales deltas del occidente colombiano. De acuerdo con Restrepo, (2008), este delta es de tipo estuarino, dominado por las mareas, y genera 1150 ton/km²/año de sedimentos, por lo cual es considerado el río documentado con mayor aporte, además de ser uno de los ríos más caudalosos de la margen occidental de Suramérica.

La morfología del delta ha cambiado constantemente y algunos autores reportan que antes de 1991 el delta crecía en una tasa de 11m/año. Posterior a este año que fue

donde ocurrió un terremoto al noreste del área, el delta entró en fase erosiva retrocediendo entre 4m/año y 11m/año lo cual ha provocado que poblaciones como el Choncho hayan tenido que desplazarse. Respecto a la vegetación, los manglares presentes en este delta se encuentran principalmente detrás de las barras formadas en las desembocaduras, y en las riberas de los ríos alrededor del delta; al interior del delta predominan helechos, palmeras y árboles.

5.1.2 *Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga*

El Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga fue declarado el 4 de agosto de 2010 con el fin de conservar los ecosistemas marinos y costeros, así como articular las comunidades que habitan el área. Las 47.094 hectáreas declaradas albergan ecosistemas de tipo Bosque muy húmedo tropical, playas, acantilados, islas, cuerpos de agua con fondos marinos blandos y rocosos. Respecto al tipo de vegetación, en el área del PNN se encuentran 6 especies de manglares y se han identificado diferentes tipos de algas asociadas a los sustratos duros y a las raíces de los manglares. Adicional a esta característica de la vegetación, en el ambiente marino de este PNN se presencian ballenas jorobadas entre junio y noviembre de cada año que, por las condiciones de las aguas, desarrollan actividades de apareamiento, parto, lactancia, crianza reposo y socialización (Parques Nacionales Naturales de Colombia, 2019).

5.1.3 *Bahía de Buenaventura*

La Bahía de Buenaventura corresponde a una bahía y un estuario cuya única entrada por el Océano Pacífico es conocida como Bocana. Esta bahía, con un área de

68.190 ha y profundidades promedio de 25 a 30 m (Banco de Occidente, 2002), es considerada el principal estuario de la costa pacífica colombiana (Lucero Rincón et al., 2023) y dentro de esta se encuentra el puerto más importante del pacífico colombiano (Gallego Perez & Selvaraj, 2019).

Sus orillas están cubiertas principalmente de manglares; en la zona de la Bocana cerca al límite con Bahía Málaga presenta acantilados con vegetación densa que se ve afectada por mareas multivariantes de rango promedio de 3,7 m.

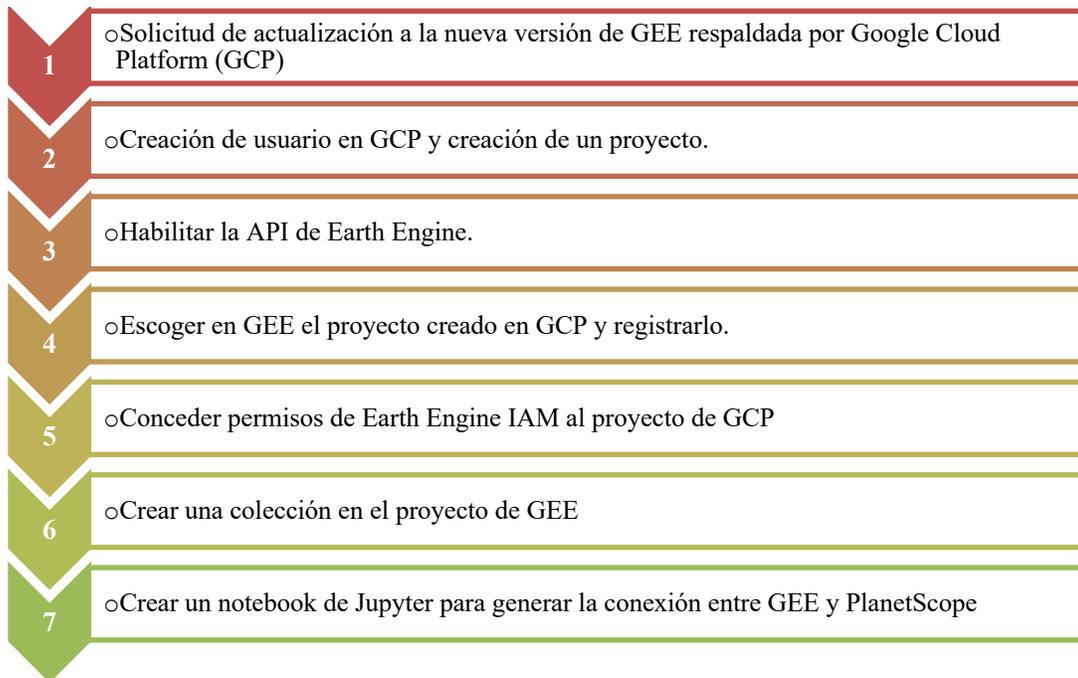
5.2 Conexión entre GEE y PlanetScope

Dado que el procesamiento de la información se realiza en la plataforma de GEE, se debe contar con una cuenta de usuario para poder acceder a todas las funcionalidades (en este estudio se utilizó una cuenta institucional no comercial) y para el almacenamiento y gestión de datos entre GEE y PlanetScope se utilizó la plataforma Google Cloud Platform (GCP). Una de las ventajas que tiene GEE es la conexión con plataformas de sensores remotos como PlanetScope, para poder generar esta conexión se contó con la autorización de uso de la cuenta institucional del Servicio Geológico Colombiano en plataforma de PlanetScope lo cual permitió la obtención de imágenes satelitales con una resolución espacial de 3 metros y 8 bandas.

Para generar la conexión entre estas dos plataformas (Anexo 1) se tomó como guía la información disponible en la página

<https://developers.planet.com/docs/integrations/gee/quickstart/>

A continuación, se describen los pasos necesarios para realizar esta conexión:



5.1 Selección y captura de imágenes satelitales de PlanetScope

La selección de imágenes de PlanetScope se realizó directamente sobre la página web de PlanetScope <https://www.planet.com/explorer/> donde se filtraron las imágenes para el área de estudio utilizando el shapefile del polígono, se estimó el rango de cobertura de nubes de 0-10% y se escogió que en las bandas espectrales incluyera Near-infrared (NIR) y Coastal blue, green I, yellow, red Edge, esto con el fin de obtener imágenes con 8 bandas.

Del resultado obtenido se filtró la información teniendo en cuenta la distribución estacional de la relación entre variabilidad de la energía del oleaje en la costa y caudal para el Delta del Río San Juan, de acuerdo con la información de Restrepo, (2008). De esta manera se escogieron las imágenes más recientes teniendo en cuenta que durante los meses de abril a julio cambia la dinámica de oleaje (disminuye) y de aporte fluvial (aumenta)

donde se puede inferir que el sistema se encuentra estable entre estos dos indicadores destructivos y constructivos respectivamente, y por lo tanto, las imágenes contenidas dentro de este rango están en una misma estacionalidad. Adicionalmente, se tuvo en cuenta que las imágenes seleccionadas tuvieran una baja cobertura de nubes. En total se seleccionaron 21 imágenes capturadas entre el 08 de abril de 2023 y el 08 de julio de 2023. En la Tabla 4 se listan las imágenes de PlanetScope seleccionadas para realizar el estudio:

Tabla 4

Identificación de las imágenes de PlanetScope utilizadas para el estudio

ID	Fecha	Hora
20230408_143530_02_245c	8-Apr-2023	14:35:30
20230408_143532_24_245c	8-Apr-2023	14:35:32
20230412_151428_50_249c	12-Apr-2023	15:14:28
20230504_144047_61_24ba	4-May-2023	14:40:47
20230504_144049_89_24ba	4-May-2023	14:40:49
20230511_142217_21_2445	11-May-2023	14:22:17
20230511_142219_49_2445	11-May-2023	14:22:19
20230511_143556_67_245c	11-May-2023	14:35:56
20230511_143927_42_241f	11-May-2023	14:39:27
20230511_151716_65_2495	11-May-2023	15:17:16
20230511_151721_07_2495	11-May-2023	15:17:21
20230511_151723_28_2495	11-May-2023	15:17:23
20230512_150635_36_2251	12-May-2023	15:06:35
20230517_152858_98_240c	17-May-2023	15:28:58
20230708_144428_98_24af	8-Jul-2023	14:44:28
20230708_151905_53_2480	8-Jul-2023	15:19:05
20230708_151907_66_2480	8-Jul-2023	15:19:07
20230708_151909_79_2480	8-Jul-2023	15:19:09
20230708_152042_19_2481	8-Jul-2023	15:20:42
20230708_152044_29_2481	8-Jul-2023	15:20:44

ID	Fecha	Hora
20230708_152046_39_2481	8-Jul-2023	15:20:46

Nota. Todas las imágenes tienen una resolución espacial de 3 metros y 8 bandas.

Para solicitar las imágenes seleccionadas se ejecutó el código generado en el notebook de Jupyter en el cual se incluyeron los IDs de las imágenes y se indicó el proyecto y colección donde se deseaba descargar la orden dentro de GEE.

5.2 Generación de script en GEE

La implementación de códigos abiertos mediante el uso de la plataforma de Google Earth Engine permite que la información sea utilizada, replicada y escalada para diferentes áreas de interés, e incluso con el uso de conocimientos en la herramienta se puede aplicar en otros sensores remotos. Es por esto que se utiliza esta plataforma para el procesamiento y generación de productos a partir de sensores remotos de manera que se garantiza su accesibilidad. A continuación, se describen los pasos para la generación de cada uno de los códigos realizados.

5.2.1 Cargue del polígono del área de estudio y recorte de las imágenes

Se cargó el shapefile del polígono del área de estudio a GEE, se aplicó un estilo para su visualización sobre el mapa base y mediante la función. clip se cortaron las imágenes al área de estudio. Para efectos de explicación de la metodología, se describen los pasos realizados con las imágenes obtenidas de PlanetScope.

```
var AreaTG = ee.FeatureCollection(AOI);
var styling = {
  color: 'black',
  width: 0.7,
  lineType: 'dotted',
  fillColor: '#ffffff00'};
Map.addLayer(AreaTG.style(styling), {}, 'Area TG');
```

5.2.2 Definición de una función para la colección de imágenes

La estructura de datos utilizada corresponde a la de ImageCollection, puesto que se trataba de un conjunto de imágenes y no de una sola imagen, por lo tanto, fue necesario definir una función para poder realizar operaciones como cortar:

```
var Planet = ee.ImageCollection(PS)
.map(function(image){return image.clip(AOI)});
```

Para visualizar los valores de las bandas se utilizó la función

ui.Chart.image.doySeries

```
var chart = ui.Chart.image.doySeries(Planet, AOI, null, 80)
.setOptions({title: 'Bandas en la coleccion de imagenes',
  vAxis:{title: 'Valores medios de las bandas'},
  hAxis:{title: 'Fecha'}});
print(chart);
```

5.2.3 Reducción de imágenes

Se aplicó esta función con el fin de unir todas las imágenes de la colección en una sola. Para el área de estudio se utilizaron las estadísticas de media, mediana, mínimo y máximo en cada banda y cada píxel. Para la visualización de cada una de las imágenes de las reducciones se definieron los parámetros de visualización con una combinación de bandas en color natural (Red, Green, Blue) y los valores de mínimo, máximo y gamma se definieron haciendo pruebas con la herramienta de parámetros de visualización de cada una de las capas.

```

var PSmedian = Planet.reduce(ee.Reducer.median());
var visparammedian = {bands: ['B6_median','B4_median','B2_median'], max:3000, min:85, gamma:1.2};
Map.addLayer(PSmedian, visparammedian, 'Median');

var PSmean = Planet.reduce(ee.Reducer.mean());
var visparammean = {bands: ['B6_mean','B4_mean','B2_mean'], max:2300, min:85, gamma:1.2};
Map.addLayer(PSmean, visparammean, 'Mean');

var PSmin = Planet.reduce(ee.Reducer.min());
var visparammin = {bands: ['B6_min','B4_min','B2_min'], max:3000, min:85, gamma:1.2};
Map.addLayer(PSmin, visparammin, 'Min');

var PSmax = Planet.reduce(ee.Reducer.max());
var visparammax = {bands: ['B6_max','B4_max','B2_max'], max:3000, min:85, gamma:1.2};
Map.addLayer(PSmax, visparammax, 'Max');

```

5.2.4 *Combinación de bandas para resaltar diferentes características*

Una vez reducida la colección de imágenes a una sola imagen, se generaron otras combinaciones de bandas para resaltar características, como lo son “falso color” (NIR, Green, Red), la cual representa una buena sensibilidad a la vegetación (color rojo) y a los cuerpos de agua (negro).

```

var visparamFC = {bands: ['B8_median','B4_median','B6_median'], max:4300, min:500, gamma:0.7};
Map.addLayer(PSmedian, visparamFC, 'Falso Color');

```

5.2.5 *Cálculo de índices espectrales*

Se calcularon los índices espectrales NDVI y NDWI utilizando normalizedDifference, y CMRI y CIRE con la función .expression para realizar las operaciones entre bandas. La descripción de las fórmulas aplicadas para cada uno de los índices se encuentra en el Capítulo 3.4.

Para la visualización de cada uno los índices se escogió una paleta de colores para resaltar las coberturas correspondientes a diferentes niveles digitales. El resultado de los mapas generados se adicionó al visor mediante la función Map.addLayer. Adicionalmente

se creó un histograma de cada uno de los índices con el fin de visualizar los valores de frecuencia de los niveles digitales.

- NDVI

```
var NDVI = PSmedian.normalizedDifference(['B8_median', 'B6_median']);
var visparamndvi = {min: -1, max: 1,
  palette: ['0000ff', '0000ff', '56c1ff', '81e2ff', 'ffff00', '008000']};
Map.addLayer (NDVI, visparamndvi, 'NDVI');
```

Histograma:

```
var chartndvi = ui.Chart.image.histogram(NDVI, AOI, 30)
.setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de NDVI',
  vAxis:{title: 'Frecuencia de NDVI'},
  hAxis:{title: 'Valores de NDVI'}});
print(chartndvi);
```

Para este índice también se generó una máscara la cual se aplicó solamente a los pixeles con nivel digital mayor de 0.7 correspondientes a vegetación.

```
var vegMask= NDVI.updateMask(NDVI.gte(0.7));
var ndviMaskParams = {min : -1, max:1, palette : ['#a2e23b']};
Map.addLayer(vegMask, ndviMaskParams, 'Veg Mask');
```

- NDWI

```
var NDWI = PSmedian.normalizedDifference(['B4_median', 'B8_median']);
var visparamndwi = {min: -1, max: 1,
  palette : ['b6e1ff', '52c0ff', '487ad2', '2c5c97']}
Map.addLayer (NDWI, visparamndwi, 'NDWI');
```

Histograma:

```
var chartndwi = ui.Chart.image.histogram(NDWI, AOI, 30)
.setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de NDWI',
  vAxis:{title: 'Frecuencia de NDWI'},
  hAxis:{title: 'Valores de NDWI'}});
print(chartndwi);
```

- CMRI

```
var CMRI = PSmedian.expression('((NIR-R)/(NIR+R))-((G-NIR)/(G+NIR))',{
  NIR : PSmedian.select('B8_median'),
  R : PSmedian.select('B6_median'),
  G : PSmedian.select('B4_median')});
var visparamcmri = {min: -2, max: 2,
  palette: ['2554ff', '2371ff', '58aaff', '41caff', '000000', 'fff700', '1db128', 'ff0202']}
Map.addLayer(CMRI, visparamcmri, 'CMRI');
```

Histograma:

```
var chartcmri = ui.Chart.image.histogram(CMRI, AOI, 30)
.setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de CMRI',
  vAxis:{title: 'Frecuencia de CMRI'},
  hAxis:{title: 'Valores de CMRI'}});
print(chartcmri);
```

- CIRE

```
var CIRE = PSmedian.expression('(NIR/RE)-1',{
  NIR : PSmedian.select('B8_median'),
  RE : PSmedian.select('B7_median')});
var visparamcire = {min: 0.8215747910591691, max: 3.9143499374110835,
  palette: ['black','blue','white','red','yellow','green']};
Map.addLayer (CIRE, visparamcire, 'CIRE');
```

Histograma:

```
var chartcire = ui.Chart.image.histogram(CIRE, AOI, 30)
.setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de CIRE',
  vAxis:{title: 'Frecuencia de CIRE'},
  hAxis:{title: 'Valores de CIRE'}});
print(chartcire);
```

5.2.6 Generación de leyenda para el NDVI

La leyenda se generó solamente para el NDVI, sin embargo, es de fácil ajuste para el índice que se desee representar. La leyenda incluyó de manera simplificada los colores correspondientes a cada cobertura.

Ubicación de la leyenda en el visor:

```
var panel = ui.Panel({
  style: {
    position: 'bottom-left',
    padding: '5px;'
  }
})
```

Definición del estilo para el título:

```

var title = ui.Label({
  value: 'Clasificación NDVI',
  style: {
    fontSize: '15px',
    fontWeight: 'bold',
    margin: '1px;'}
})

panel.add(title)

```

Ítems que incluye la leyenda:

```

var color = ['blue', 'yellow', 'green']
var classification = ['Agua', 'Sedimentos y nubes', 'Vegetación']

```

Ajuste al borde, fondo y estilo del panel de leyenda.

```

var list_legend = function(color, desc) {
  var c = ui.Label({
    style: {
      backgroundColor: color,
      padding: '10px',
      margin: '4px'
    }
  })
  var ds = ui.Label({
    value: desc,
    style: {
      margin: '5px'
    }
  })
  return ui.Panel({
    widgets: [c, ds],
    layout: ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')
  })
}

for (var i = 0; i < 3; i++) {
  panel.add(list_legend(color[i], classification[i]));
}

Map.add(panel);

```

5.2.7 Exportación de imágenes a Google Drive

Los mapas generados se exportaron a Google Drive utilizando la función

`Export.image.toDrive`

```

Export.image.toDrive({
  image: NDVI,
  description: 'NDVI',
  maxPixels: 1e13,
  crs: 'EPSG:32618',
  region: AOI,
  scale: 15});

```

6. Resultados y discusión

6.1 Notebook para la conexión entre PlanetScope y GEE

Mediante el uso de lenguaje de programación Python se generó un notebook en Jupyter para realizar la conexión entre las plataformas de PlanetScope y GEE, para esto fue necesario contar con una cuenta de Google Cloud Platform. El notebook generado cuenta con la descripción del código y se indican los datos necesarios para realizar la conexión. Adicionalmente se generó un notebook para ordenar imágenes de PlanetScope armonizadas con Sentinel 2, sin embargo, el resultado obtenido no era óptimo para el trabajo a realizar, ya que resaltaba las diferencias entre las imágenes y al tratarse de un sensor con menor calidad a la de PlanetScope, no se utilizó en el estudio.

6.2 Script en GEE para procesamiento de imágenes de PlanetScope

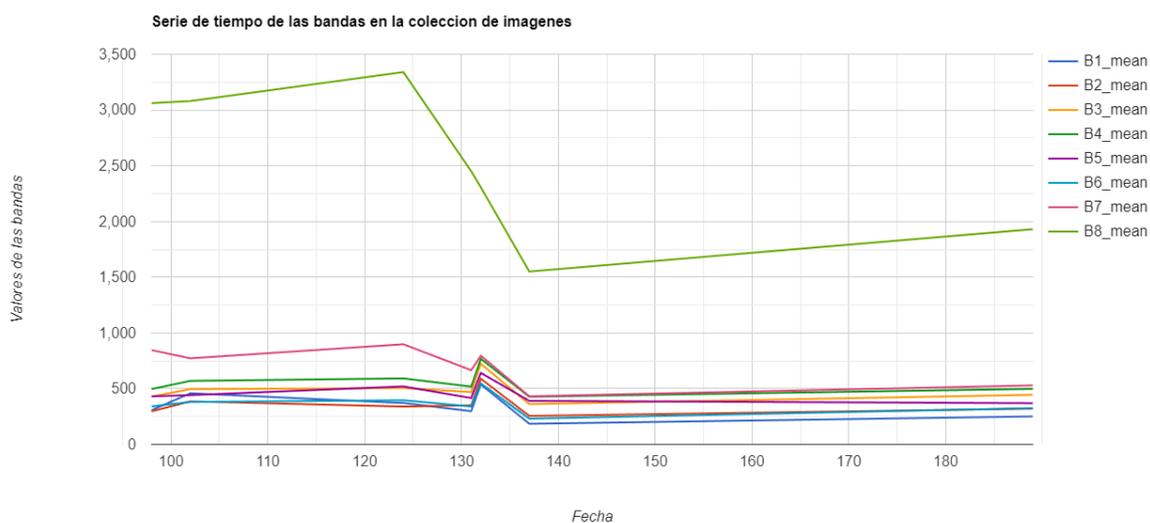
Las imágenes satelitales se escogieron directamente desde la plataforma de PlanetScope y se ordenaron mediante el notebook. Una vez procesada la solicitud, las imágenes aparecieron en GEE en la ubicación indicada. Al tratarse de una colección de imágenes se utilizó la función de ImageCollection para realizar el recorte de cada una de las imágenes al área de estudio.

Con el fin de visualizar los valores espectrales de las bandas de cada una de las imágenes se generó una gráfica de serie de tiempo con las fechas de las imágenes (Figura 3) a partir de la ImageCollection en la cual se traza los valores derivados de cada banda en el área de estudio para cada día de las imágenes seleccionadas. Estos valores corresponden a la media de los valores de cada banda como resultado de una reducción espacio temporal

de las imágenes dentro de la colección de imágenes (Google Earth Engine, 2023). Este tipo de gráficas son útiles para comparar la variación de valores espectrales a lo largo de un periodo de tiempo.

Figura 3

Serie de tiempo de las bandas de la colección de imágenes en el área de estudio

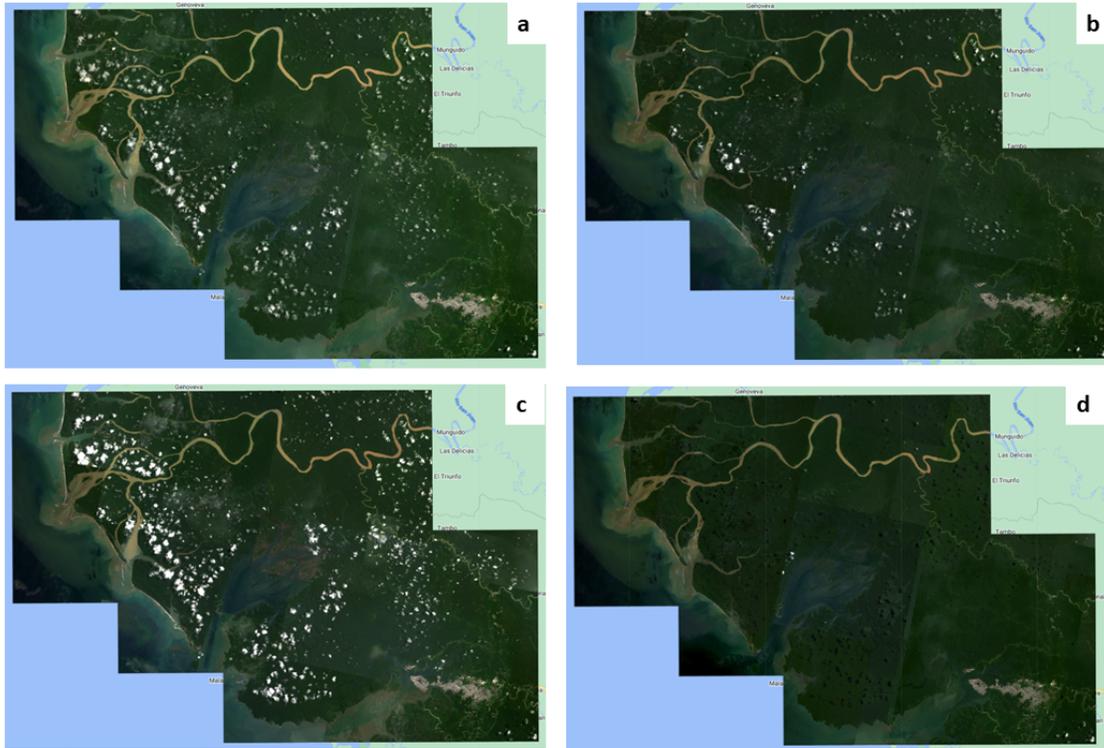


Nota. En el eje x se encuentran los días del año en los cuales fueron capturadas las imágenes, en el eje y la reducción de píxeles de la imagen en el área de estudio los cuales son agrupados por día del año y cada banda de las imágenes se presenta como una serie única.

Para seleccionar el método de reducción más adecuado para pasar de una colección de imágenes a una imagen, se calcularon medidas de tendencia central (median, mean, max, min). Para visualizar los resultados de cada reducción (Figura 4) se combinaron las bandas 6, 4 y 2 correspondientes a Color natural y se definieron valores de mínimo y máximo (85 y 3000) con un resalte gamma de 1.2, estos valores se obtuvieron al ajustar manualmente la visualización de las imágenes generadas.

Figura 4

Cálculo de diferentes tipos de estadísticas para aplicar un reductor



Nota. En la imagen se muestran los tipos de reducciones aplicadas: a) Media, b) Mediana, c) Máximo y d) Mínimo.

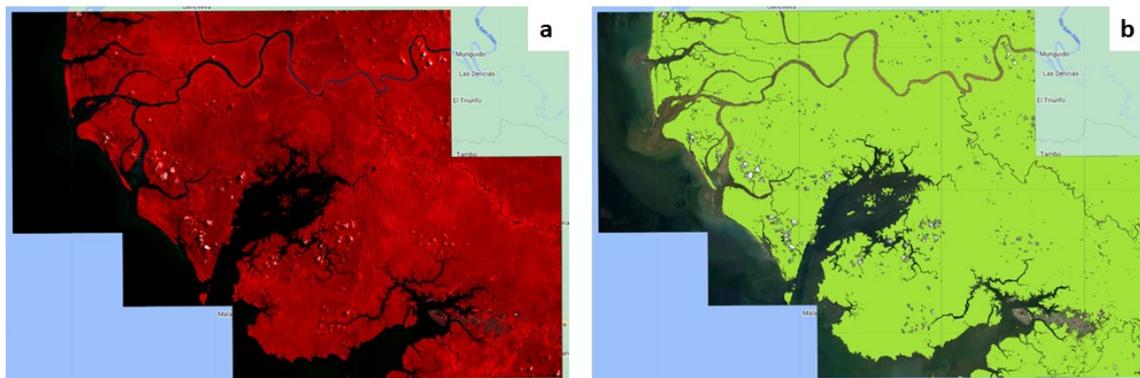
Se determinó que la mejor imagen fue generada mediante el uso de la mediana, por lo cual se escogió este método de reducción para el posterior cálculo de los índices espectrales. Lo anterior se debe a que generó una imagen con ajustes de color entre las imágenes, y las líneas de unión entre estas se vieron suavizadas, además de la reducción en la cobertura de nubes presente.

A partir de la reducción con la mediana se generó una imagen Falso color mediante la combinación de bandas 8, 4 y 6 tal como se observa en la Figura 5. Adicionalmente se

generó una máscara que asigna color solo a los píxeles con valores superiores a 0.7 en una escala de -1 a 1, ya que estos corresponden a coberturas de vegetación.

Figura 5

Combinaciones de bandas para resaltar características en el área de estudio



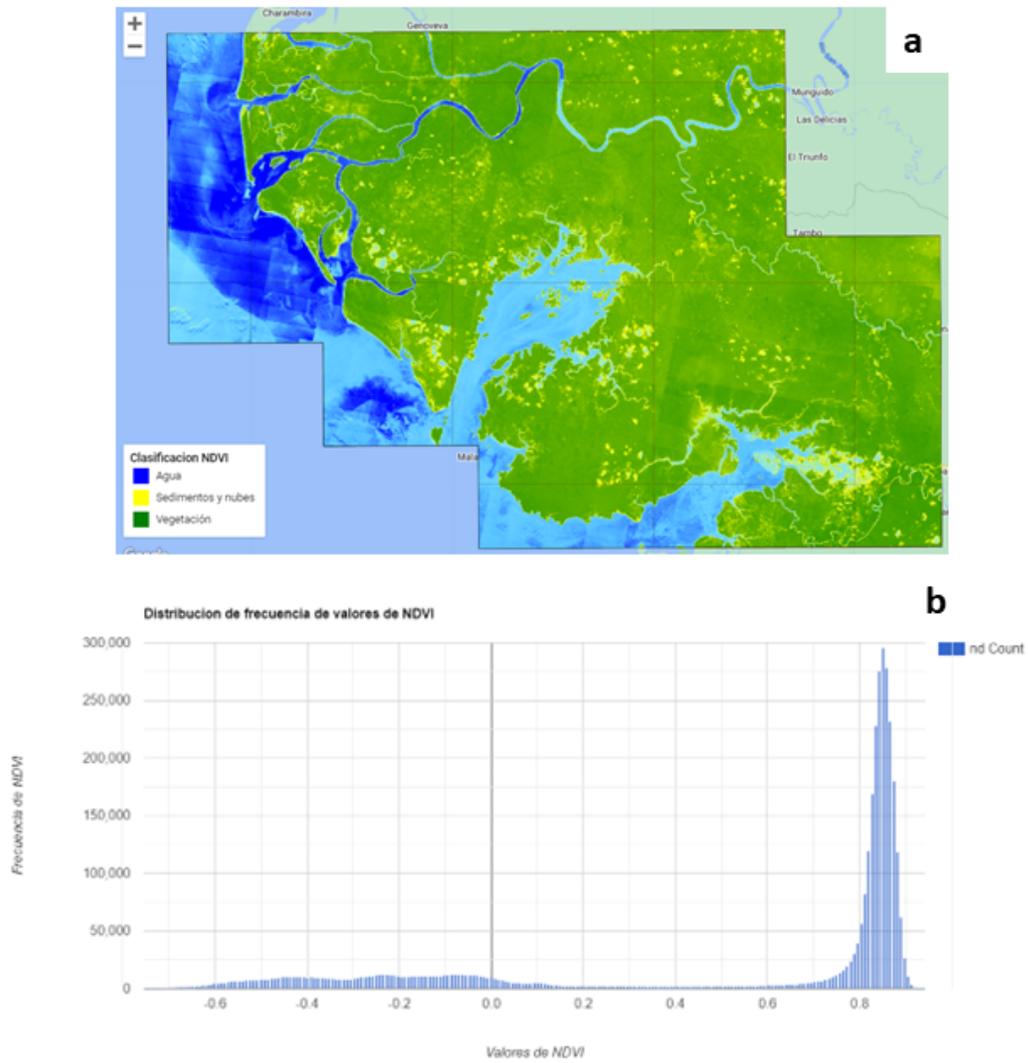
Nota. Imágenes generadas a partir de combinaciones de bandas: a) Falso color (B8, B4, B6), b) Máscara de vegetación (enmascarar valores digitales superiores a 0.7).

Se utilizaron las funciones `.normalizedDifference` y `.expression` para generar el código que permitió calcular cada uno de los 4 índices (Figura 6, Figura 7, Figura 8 y Figura 9) que ayudan a resaltar ciertas características de la zona. Cada una de las imágenes generadas contiene unos parámetros de visualización y un histograma con los valores de frecuencia de los niveles digitales de los píxeles, de manera que se pueden evidenciar los sesgos de cada uno dependiendo del índice aplicado.

- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Figura 6

Resultados obtenidos para NDVI

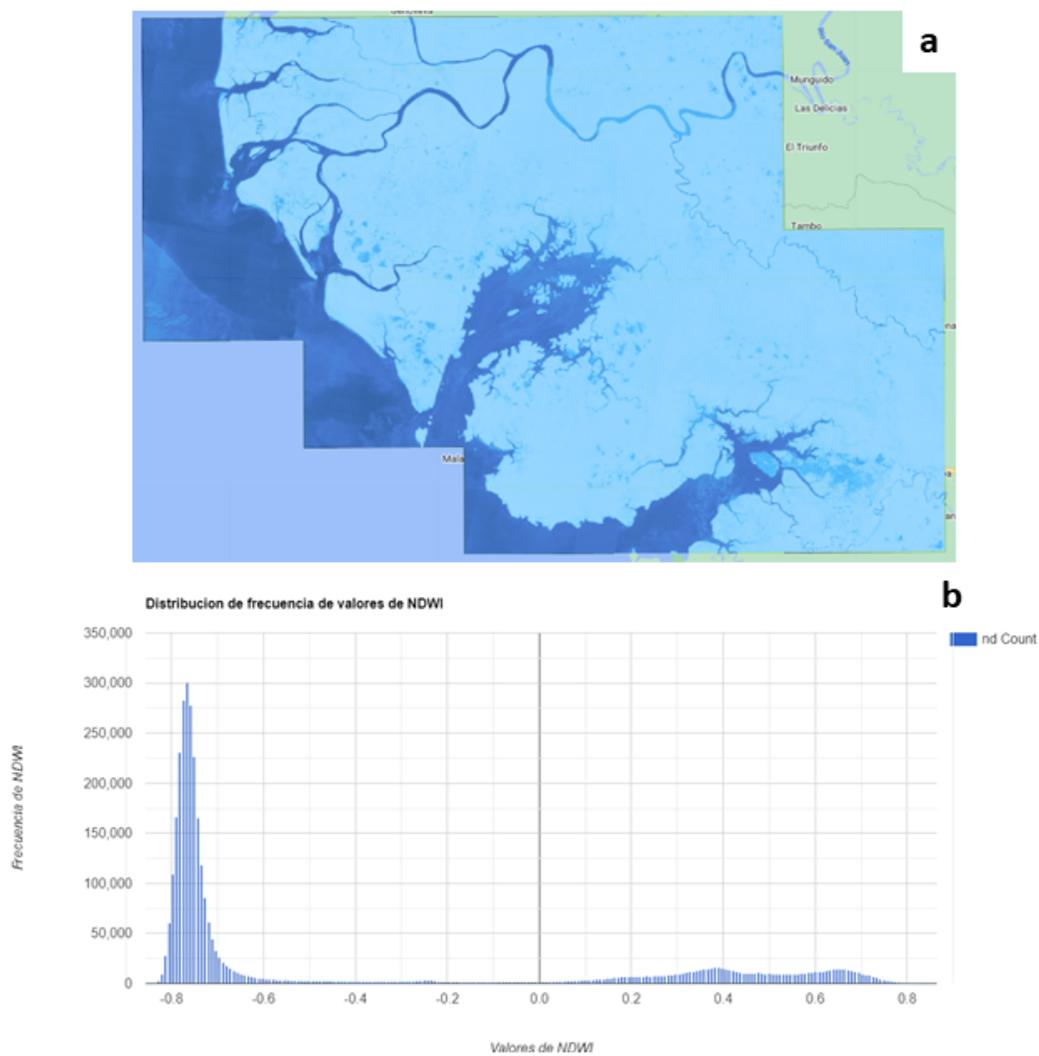


Nota. a) Imagen obtenida para NDVI b) Histograma de valores de frecuencia para los niveles digitales de NDVI.

- Normalized Difference Water Index (NDWI)

Figura 7

Resultados obtenidos para NDWI

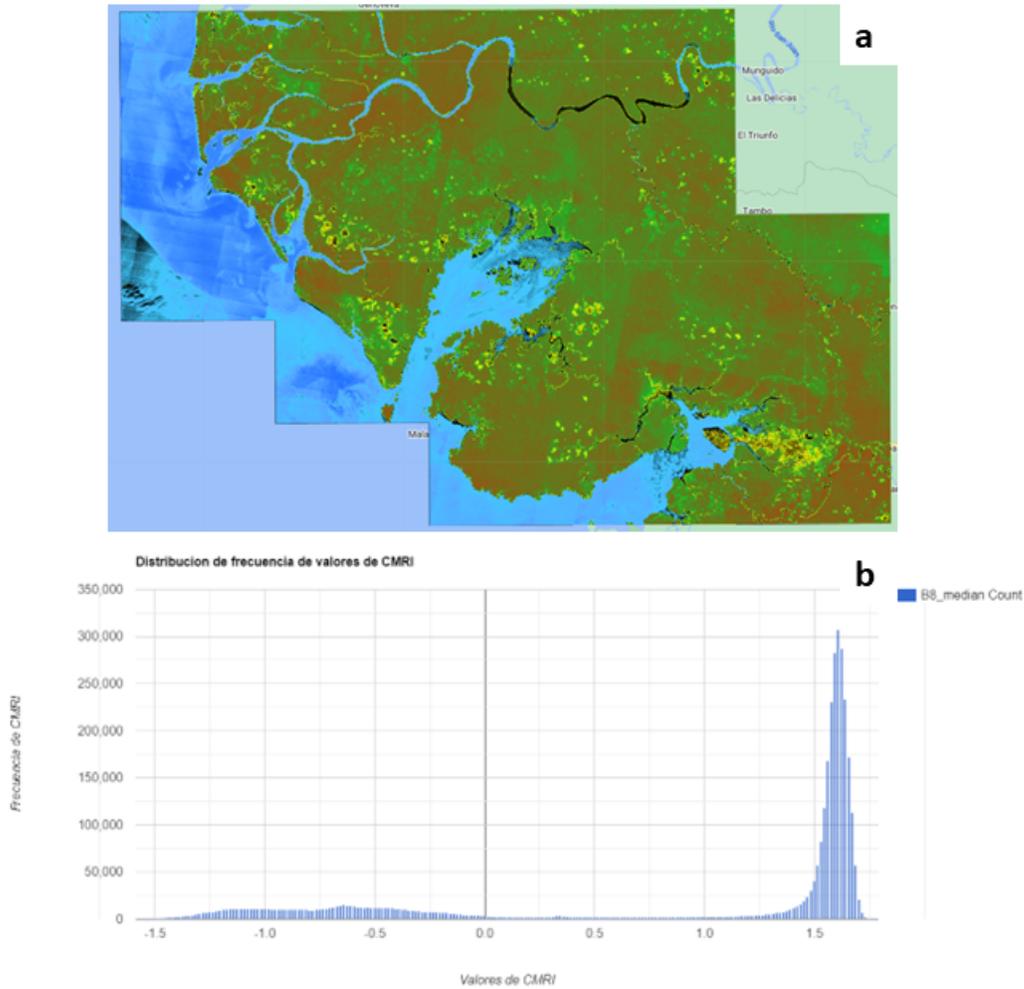


Nota. a) Imagen obtenida para NDWI b) Histograma de valores de frecuencia para los niveles digitales de NDWI.

- Combined Mangrove Recognition Index (CMRI):

Figura 8

Resultados obtenidos para CMRI

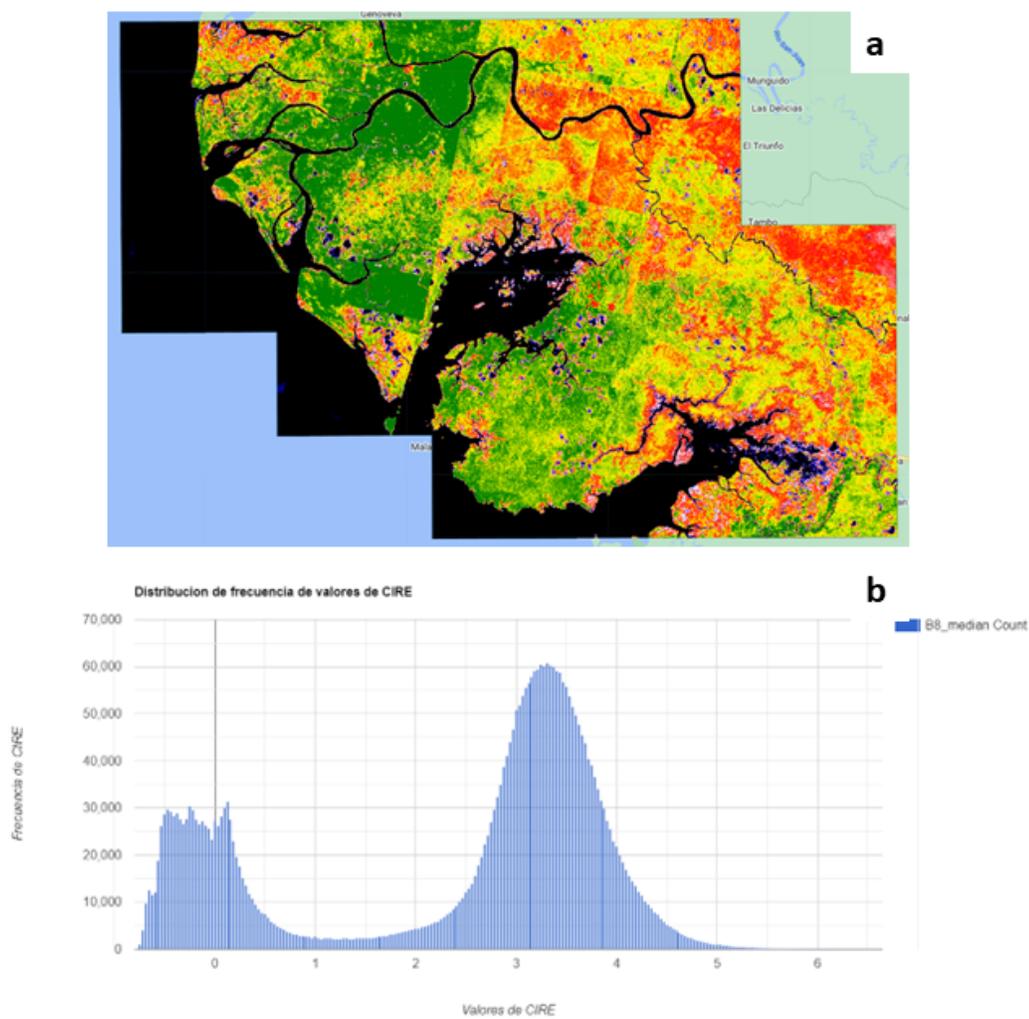


Nota. a) Imagen obtenida para CMRI b) Histograma de valores de frecuencia para los niveles digitales de CMRI.

- Chlorophyll Index Red-Edge (CIRE):

Figura 9

Resultados obtenidos para CIRE



Nota. a) Imagen obtenida para CIRE b) Histograma de valores de frecuencia para los niveles digitales de CIRE.

Finalmente se ejecutó la exportación de la imagen deseada a Google Drive. En este punto se encontró que GEE tiene un límite de píxeles para exportar imágenes por lo cual no se logró exportar la imagen a una resolución espacial de 3 m. Para lograr exportar la imagen fue necesario bajar la resolución a 10 m, lo cual puede ser una desventaja al momento del uso de este tipo de imágenes satelitales en zonas grandes, sin embargo, existe la opción de exportar la imagen por sectores.

Para poder acceder al script completo se debe contar con una cuenta de usuario de GEE el cual es de acceso gratuito. A continuación se pone a disposición el script completo para que pueda ser consultado y replicado:

<https://code.earthengine.google.com/0ae20e237eb39d280cac41f4acc0165a>

Conclusiones

El uso de sensores remotos es un recurso importante para el mapeo de coberturas, ya que permite la aplicación de métodos de análisis como el cálculo de índices espectrales.

La conexión con Google Cloud Platform permite la gestión y almacenamiento imágenes satelitales, que generalmente son de gran tamaño, sin afectar el almacenamiento del equipo de trabajo. Es por esto que al generar la conexión entre las plataformas de PlanetScope y GEE se logró realizar un procesamiento en línea sin necesidad de recurrir a la descarga de archivos ni utilización de aplicaciones de escritorio.

Las imágenes de PlanetScope permiten mapear coberturas a detalle gracias a la resolución espacial de 3 metros, y la combinación de bandas espectrales como NIR, Red y Green permite la identificación de diferentes tipos de coberturas vegetales.

Aunque la última generación de imágenes de PlanetScope tiene 8 bandas espectrales, hay índices de vegetación que no es posible calcular, puesto que no incluyen información tipo SWIR. Esto constituye una limitante a la hora de identificar ciertos tipos de vegetación y pone al sensor en desventaja frente a otros tipos de sensores como lo son Landsat 8 y Sentinel 2 que contienen bandas con longitudes de ondas mayores.

Se realizó la búsqueda de información relacionada con análisis de imágenes satelitales de PlanetScope en Google Earth Engine en la plataforma de Science Direct, utilizando el operador “Google Earth Engine” AND “PlanetScope” y el resultado arrojó solamente 2 artículos que enlazaban dichos términos. Lo anterior es muestra de que el uso de estas dos tecnologías no ha sido muy documentado y por lo tanto, tiene gran potencial para su aprovechamiento. Así mismo esto puede ser reflejo de los limitados recursos libres de PlanetScope los cuales cuentan con 4 bandas espectrales y 4.7 m de resolución,

contrario a las imágenes comerciales que tienen 8 bandas con una resolución espacial de 3 m.

Al procesar colecciones de imágenes es importante explorar métodos estadísticos que generen una reducción de imágenes con baja cobertura de nubes, especialmente en zonas como el pacífico colombiano donde se presentan valores altos de precipitación, adicionalmente se debe tener en cuenta que la aplicación de estos métodos puede incidir de manera directa sobre la incertidumbre de las coberturas. En este trabajo se evidenció que el uso de la mediana permitió generar una imagen acorde a los objetivos de estudio.

En zonas costeras como la del pacífico colombiano existe un intercambio periódico de aguas con diferentes grados de salinidad ya que son ambientes transicionales que presentan contrastes estacionales y multianuales en los aportes fluviales y en los procesos marinos (oleaje, mareas, corrientes litorales, nivel relativo del mar). Teniendo en cuenta lo anterior se recomienda analizar estas variables al momento de seleccionar imágenes multitemporales puesto que los valores espectrales de la vegetación pueden variar de manera significativa.

Los resultados presentados permiten demostrar el potencial del uso de plataformas de libre acceso como lo es GEE que permite el procesamiento de grandes volúmenes de información y obtención de resultados en tiempos muy cortos.

Los scripts generados en este trabajo de grado son un aporte novedoso y significativo para la cartografía, puesto que son fácilmente replicables para el mapeo de otras zonas de interés. Se recomienda seguir explorando la aplicabilidad de estas técnicas y plataformas para el mapeo de coberturas y diferenciación de tipos de vegetación.

Anexos

Anexo 1: Ordenar imágenes de PlanetScope a GEE

Ejecutar en un notebook los siguientes códigos en celdas independientes y

siguiendo el paso a paso:

```
# Importar las librerías para trabajar con el sistema operativo (os), con
JavaScript Object Notation (json),
# y con la solicitud de API que requiere autenticación via API KEY
import os
import json
import requests
from requests.auth import HTTPBasicAuth
```

```
# Autenticación a Planet usando la API Key
# En la siguiente línea se debe incluir entre comillas la API Key de Planet
# Esta API Key se obtiene iniciando sesión en PlanetScope -> My Account -> My
Settings -> API KEY
os.environ['PL_API_KEY']='#####'
# Configurar la API Key desde la variable de ambiente 'PL_API_KEY'
PLANET_API_KEY = os.getenv('PL_API_KEY')
```

```
# Autenticar con el uso de la variable API Key
auth = HTTPBasicAuth(PLANET_API_KEY, '')
# Nombrar la url donde se va a ubicar el requerimiento de API para imágenes de
Planet Labs
# https://developers.planet.com/docs/integrations/gee/delivery/
orders_url = 'https://api.planet.com/compute/ops/orders/v2'

# Testear la conexión. Si la autenticación es correcta debe aparecer el mensaje
<Response [200]>
response = requests.get(orders_url, auth=auth)
response
```

```
# En esta celda se va a configurar el requerimiento de API, empezando por
indicar que se espera un pedido en formato JSON
headers = {'content-type': 'application/json'}
request = {
    "name": "Buenaventura21Es0804a0807", # Nombre con el cual se va a realizar
    la orden
    "products": [{"item_ids": [
# Incluir los IDs de cada una de las imágenes que se desean ordenar
# Se obtienen al filtrar las imágenes en Planet en el Botón API{.} o
directamente sobre cada imagen
        '20230511_151723_28_2495',
        '20230511_151721_07_2495',
        '20230511_151716_65_2495',
        '20230512_150635_36_2251',
        '20230517_152858_98_240c',
        '20230708_144428_98_24af',
        '20230708_151909_79_2480',
        '20230708_151907_66_2480',
```

Anexo 2: Script para el procesamiento de imágenes en GEE

```

1. // Cálculo de índices espectrales para el área del Delta de San Juan y la
   // Bahía de Buenaventura,
2. // a partir del uso de imágenes de PlanetScope en Google Earth Engine.
3.
4. // Elaborado por:
5. // Evelin Natalia Cabrera Claros
6. // Especialización en Sistemas de Información Geográfica
7. // Universidad Antonio Nariño
8. // -----
9.
10. // Mantener la visualización centrada en el área de estudio (AOI)
11. Map.centerObject(AOI, 10);
12.
13. // Ver las propiedades de la colección
14. print(PS);
15.
16. // Incluir el polígono del área del estudio y darle un estilo
17. var AreaTG = ee.FeatureCollection(AOI);
18. var styling = {
19.   color: 'black',
20.   width: 0.7,
21.   lineType: 'dotted',
22.   fillColor: '#ffffff00'};
23. Map.addLayer(AreaTG.style(styling), {}, 'Area TG');
24.
25. // Definición de la variable
26. var Planet = ee.ImageCollection(PS)
27. // para hacer el clip es necesario realizar una función ya que se trata de
   // una colección
28. .map(function(image){return image.clip(AOI)});
29.
30. // Valores de las bandas para todas las imágenes
31. var chart = ui.Chart.image.doySeries(Planet, AOI, null, 80)
32. .setOptions({title: 'Bandas en la colección de imágenes',
33.   vAxis:{title: 'Valores medios de las bandas'},
34.   hAxis:{title: 'Fecha'}});
35. print(chart);
36.
37.
38. // Parámetros de visualización en Color Natural
39. var visparam = {bands: ['B6', 'B4', 'B2'], max:3000, min:85, gamma:1.2, stretch:100};
40. // Agregar la colección de imágenes al visor
41. Map.addLayer(Planet, visparam, 'Planet');
42.
43. // APLICACION DE METODOS ESTADISTICOS PARA REALIZAR REDUCCION DE LAS
   // IMAGENES EN UNA SOLA
44.
45. // Mediana
46. // El nombre de las bandas cambia a: B1_median, B2_median, etc.
47. var PSmedian = Planet.reduce(ee.Reducer.median());
48. // Parámetros de visualización para la mediana
49. var visparammedian = {bands: ['B6_median', 'B4_median', 'B2_median'], max:3000, min:85, gamma:1.2};
50. Map.addLayer(PSmedian, visparammedian, 'Median');
51.
52. // Media
53. var PSmean = Planet.reduce(ee.Reducer.mean());

```

```

54. // Parametros de visualizacion para la media
55. var visparammean = {bands: ['B6_mean', 'B4_mean', 'B2_mean'], max:3000, min
    :85, gamma:1.2};
56. Map.addLayer(PSmean, visparammean, 'Mean');
57.
58. // Minimo
59. var PSmin = Planet.reduce(ee.Reducer.min());
60. // Parametros de visualizacion para el minimo
61. var visparammin = {bands: ['B6_min', 'B4_min', 'B2_min'], max:3000, min:85,
    gamma:1.2};
62. Map.addLayer(PSmin, visparammin, 'Min');
63.
64. //Maximo
65. var PSmax = Planet.reduce(ee.Reducer.max());
66. // Parametros de visualizacion para el máximo
67. var visparammax = {bands: ['B6_max', 'B4_max', 'B2_max'], max:3000, min:85,
    gamma:1.2};
68. Map.addLayer(PSmax, visparammax, 'Max');
69.
70. // Una vez definido el método estadístico que mas se ajuste
71. // a lo deseado, se pueden realizar otras combinaciones de color
72.
73. // Visualizacion en Falso Color
74. var visparamFC = {bands: ['B8_median', 'B4_median', 'B6_median'], max:4300,
    min:500, gamma:0.7};
75. Map.addLayer(PSmedian, visparamFC, 'Falso Color');
76.
77.
78. //CALCULO DE INDICES DE VEGETACION
79.
80. // NDVI (NIR-R)/(NIR +R)
81. var NDVI = PSmedian.normalizedDifference(['B8_median', 'B6_median']);
82. // Parametros de visualizacion para NDVI
83. var visparamndvi = {min: -1, max: 1,
84.  palette: ['0000ff', '0000ff', '56c1ff', '81e2ff', 'ffff00', '008000']};
85. // Agregar el mapa de NDVI al visor
86. Map.addLayer(NDVI, visparamndvi, 'NDVI');
87. //Histograma del NDVI
88. var chartndvi = ui.Chart.image.histogram(NDVI, AOI, 30)
89. .setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de NDVI',
90.  vAxis:{title: 'Frecuencia de NDVI'},
91.  hAxis:{title: 'Valores de NDVI'}});
92. print(chartndvi);
93.
94.
95. //MASCARA DE PIXEL DE VEGETACION AL INDICE NDVI
96. // Se utiliza para filtrar solo los pixeles que corresponden a vegetacion
97. // El valor de 0.7 se obtuvo a partir de los nd de los pixeles que no
    corresponden a vegetacion
98. var vegMask= NDVI.updateMask(NDVI.gte(0.7));
99. // Parametros de visualizacion para la mascara de vegetacion
100.  var ndviMaskParams = {min :-1, max:1, palette :['#a2e23b']};
101.  // Agregar el mapa de mascara de pixel al visor
102.  Map.addLayer(vegMask, ndviMaskParams, 'Veg Mask');
103.
104.  // NDWI (Green - NIR)/(Green + NIR)
105.  var NDWI = PSmedian.normalizedDifference(['B4_median', 'B8_median']
    );
106.  // Parametros de visualizacion para NDWI
107.  var visparamndwi = {min: -1, max: 1,
108.    palette : ['b6e1ff', '52c0ff', '487ad2', '2c5c97']}
109.  // Agregar el mapa de NDWI al visor

```

```

110.     Map.addLayer (NDWI, visparamndwi , 'NDWI');
111.     //Histograma del NDWI
112.     var chartndwi = ui.Chart.image.histogram(NDWI, AOI, 30)
113.     .setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de
NDWI',
114.         vAxis:{title: 'Frecuencia de NDWI'},
115.         hAxis:{title: 'Valores de NDWI'}});
116.     print(chartndwi);
117.
118.     // CMRI (NDVI -NDWI)
119.     var CMRI = PSmedian.expression(('((NIR-R)/(NIR+R))-((G-
NIR)/(G+NIR))'),{
120.         NIR : PSmedian.select('B8_median'),
121.         R : PSmedian.select('B6_median'),
122.         G : PSmedian.select('B4_median')});
123.     // Parametros de visualizacion para CMRI
124.     var visparamcmri = {min: -2, max: 2,
125.         palette: ['2554ff','2371ff','58aaff','41caff','000000','fff700','
1db128','ff0202']}
126.     // Agregar el mapa de CMRI al visor
127.     Map.addLayer(CMRI, visparamcmri, 'CMRI');
128.     //Histograma del CMRI
129.     var chartcmri = ui.Chart.image.histogram(CMRI, AOI, 30)
130.     .setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de
CMRI',
131.         vAxis:{title: 'Frecuencia de CMRI'},
132.         hAxis:{title: 'Valores de CMRI'}});
133.     print(chartcmri);
134.
135.     // CIRE ( (NIR/RE)-1 )
136.     var CIRE = PSmedian.expression(('(NIR/RE)-1'),{
137.         NIR : PSmedian.select('B8_median'),
138.         RE : PSmedian.select('B7_median')});
139.     // Parametros de visualizacion para la mascara de vegetacion
140.     var visparamcire = {min: 0.8215747910591691, max: 3.914349937411083
5,
141.         palette: ['black','blue','white','red','yellow','green']};
142.     // Agregar el mapa de CIRE al visor
143.     Map.addLayer (CIRE, visparamcire , 'CIRE');
144.     //Histograma del CIRE
145.     var chartcire = ui.Chart.image.histogram(CIRE, AOI, 30)
146.     .setOptions({title: 'Distribucion de frecuencia de valores de
CIRE',
147.         vAxis:{title: 'Frecuencia de CIRE'},
148.         hAxis:{title: 'Valores de CIRE'}});
149.     print(chartcire);
150.
151.
152.     // EXPORTAR A GOOGLE DRIVE
153.
154.     // Export the image.
155.     Export.image.toDrive({
156.         image: NDVI,
157.         description: 'NDVI',
158.         maxPixels: 1e13,
159.         crs: 'EPSG:32618',
160.         region: AOI,
161.         scale: 15 // a una escala de 3 metros no fe posible realizar la
exportacion
162.     });
163.
164.

```

```
165. // AÑADIR UNA LEYENDA
166.
167. var panel = ui.Panel({
168.   style: {
169.     position: 'bottom-left',
170.     padding: '5px;'
171.   }
172. })
173.
174. var title = ui.Label({
175.   value: 'Clasificacion NDVI',
176.   style: {
177.     fontSize: '15px',
178.     fontWeight: 'bold',
179.     margin: '1px;'
180.   }
181. })
182.
183. panel.add(title)
184.
185. //Parametros NDVI
186. var color = ['blue', 'yellow', 'green']
187. var classification = ['Agua', 'Sedimentos y nubes', 'Vegetación']
188.
189.
190. var list_legend = function(color, desc) {
191.   var c = ui.Label({
192.     style: {
193.       backgroundColor: color,
194.       padding: '10px',
195.       margin: '4px'
196.     }
197.   })
198.   var ds = ui.Label({
199.     value: desc,
200.     style: {
201.       margin: '5px'
202.     }
203.   })
204.   return ui.Panel({
205.     widgets: [c, ds],
206.     layout: ui.Panel.Layout.Flow('horizontal')
207.   })
208. }
209.
210. for (var i = 0; i < 3; i++) {
211.   panel.add(list_legend(color[i], classification[i]));
212. }
213.
214. Map.add(panel);
```

Referencias Bibliográficas

- Álvarez M., M. C., Bermúdez-Rivas, C., & Niño P., D. C. (2016). Caracterización de la geomorfología costera y sus coberturas vegetales asociadas, a través de sensores remotos en la bahía de Buenaventura, Valle del Cauca. *Boletín Científico CIOH*, 34(34), 49–63. <https://doi.org/10.26640/22159045.426>
- Banco de Occidente. (2002). *Golfos y Bahías de Colombia - Colección Ecológica del Banco*. <https://www.imeditores.com/banocc/golfos/cap6.htm>
- Blanco-Libreros, J. F., & Álvarez-León, R. (2019). Mangroves of Colombia revisited in an era of open data, global changes, and socio-political transition: Homage to Heliodoro Sánchez-Páez. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166), 84–97. <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.780>
- Castellanos-Galindo, G. A., Kluger, L. C., Camargo, M. A., Cantera, J., Mancera Pineda, J. E., Blanco-Libreros, J. F., & Wolff, M. (2021). Mangrove research in Colombia: Temporal trends, geographical coverage and research gaps. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106799>
- Cifuentes-Ossa, M. A., Rosero-Henao, L. V., & Josephraj-Selvaraj, J. (2017). Detección de cambios de la línea costera al norte del Distrito de Buenaventura mediante el uso de sensores remotos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 46(1), 137–152. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612017000100137&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Corporación OSSO. (n.d.). *Estudio demostrativo sobre Coberturas y Cambios en los Usos del Suelo en la Region de Buenaventura.*

<https://www.osso.org.co/docu/proyectos/grupo-osso/1998/btura/>

Correa Valencia, J. A. (2018). *Analisis Multitemporal Coberturas y Usos del Suelo: Transformaciones ambientales a través del tiempo en Armenia, Quindio* [Trabajo de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira].

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/9e1f6bb5-9e1a-469a-b21a-48f410f45fd9/content>

Gallego Perez, B. E., & Selvaraj, J. J. (2019). Evaluation of coastal vulnerability for the District of Buenaventura, Colombia: A geospatial approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100263.

<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100263>

Fuentes, J. E., Olaya, R. A., & Garcia, C. E. (2022). Evaluation of Coastal Erosion in the Watersheds of Municipality of Buenaventura, Colombia: Using Geospatial Techniques and the Composite Vulnerability Index. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/IJGI11110568>

Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257–266.

[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., & Merzlyak, M. N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 289–298. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)
- Google Earth Engine. (2023, October 6). *ImageCollection Charts*. https://developers.google.com/earth-engine/guides/charts_image_collection
- Gupta, K., Mukhopadhyay, A., Giri, S., Chanda, A., Datta Majumdar, S., Samanta, S., Mitra, D., Samal, R. N., Pattnaik, A. K., & Hazra, S. (2018). An index for discrimination of mangroves from non-mangroves using LANDSAT 8 OLI imagery. *MethodsX*, 5, 1129–1139. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2018.09.011>
- IGAC. (2022). *Interpretación de materiales geológicos a partir de sensores remotos para la cartografía geomorfológica aplicada a levantamientos de suelos*.
- Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing A Remote Sensing Perspective*. University of South Carolina.
- Lucero Rincón, C. H., Peña Salamanca, E. J., Cantera Kintz, J. R., Lizcano, O. V., Cruz-Quintana, Y., & Neira, R. (2023). Assessment of mercury and lead contamination using the bivalve *Anadara tuberculosa* (Arcidae) in an estuary of the Colombian Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 187, 114519. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2022.114519>
- Mejía-Rentería, J. C., Castellanos-Galindo, G. A., Cantera-Kintz, J. R., & Hamilton, S. E. (2018). A comparison of Colombian Pacific mangrove extent estimations: Implications for the conservation of a unique Neotropical tidal forest. *Estuarine*,

Coastal and Shelf Science, 212, 233–240.

<https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2018.07.020>

Parques Nacionales Naturales de Colombia. (2019, May 3). *Parque Nacional Natural Uramba Bahía Málaga*.

Patel, S., & Kelly, J. (2022, December 15). *Automated Shoreline Extraction Using Planet Imagery and Machine Learning Techniques in Google Earth Engine*.

Perea-Ardila, M. A., Leal-Villamil, J., & Oviedo-Barrero, F. (2021). Spectral characterization and monitoring of mangrove forests with remote sensing in the Colombian pacific coast: Bajo Baudó, Chocó. *Granja*, 34(2), 26–42.

<https://doi.org/10.17163/LGR.N34.2021.02>

Perea-Ardila, M. A., Oviedo-Barrero, F., & Leal-Villamil, J. (2019). Mangrove forest mapping through remote sensing imagery: Study case for Buenaventura, Colombia. *Revista de Teledeteccion*, 2019(53), 73–86.

<https://doi.org/10.4995/RAET.2019.11684>

Planet Labs PBC. (2023, July 20). *Sentinel-2 MSI User Guide*.

<https://developers.planet.com/docs/data/planetscope/>

Restrepo, J. D. (2008). *Deltas de Colombia: morfodinámica y vulnerabilidad ante el Cambio Global* (J. D. Restrepo Ángel, Ed.). Fondo Editorial de la Universidad EAFIT.

Selvaraj, J. J., & Gallego Pérez, B. E. (2023a). An enhanced approach to mangrove forest analysis in the Colombian Pacific coast using optical and SAR data in Google Earth

- Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30, 100938.
<https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2023.100938>
- Selvaraj, J. J., & Gallego Pérez, B. E. (2023b). Estimating mangrove aboveground biomass in the Colombian Pacific coast: A multisensor and machine learning approach. *Heliyon*, 9(11), e20745. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E20745>
- Torres Obregon, O. E., & García Cortes, C. E. (2022). *Diseño de una metodología para el empleo de la concentración de manglar en la Bahía del Distrito de Buenaventura del Valle del Cauca a partir de imágenes satelitales*. Universidad del Valle.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)