



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

“Modelamiento de las alturas del dosel de los manglares en la Provincia de El Oro, empleando datos SAR y LiDAR en un algoritmo de Inteligencia Artificial”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO/A GEÓGRAFO/A Y DEL MEDIO AMBIENTE



Autora:

Asimbaya Socasi Katty Vanessa

Director de Carrera:

Ing. Robayo Nieto, Alexander MSc.

Director del Proyecto:

Ing. Oswaldo Padilla, PhD.

Docente Evaluador:

Ing. Eduardo Kirby, MSc.

ANTECEDENTES



Las técnicas geoespaciales han tomado un papel relevante en la adquisición de información de diferentes recursos de la Tierra.

- Teledetección Satelital
- GPS
- Sistemas de Información Geográfica

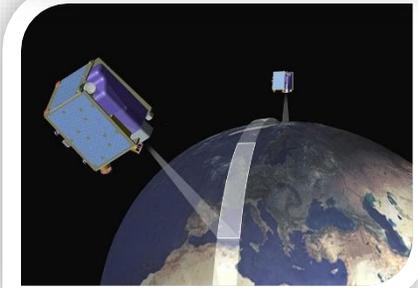


RECURSOS NATURALES

MANGLARES

IMPORTANT

Son la base de la seguridad alimentaria de miles de personas



Sensores que operan con principios físicos fundamentalmente diferentes

Hiperspectral

Espectral

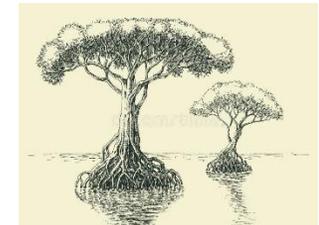
LiDAR

SAR

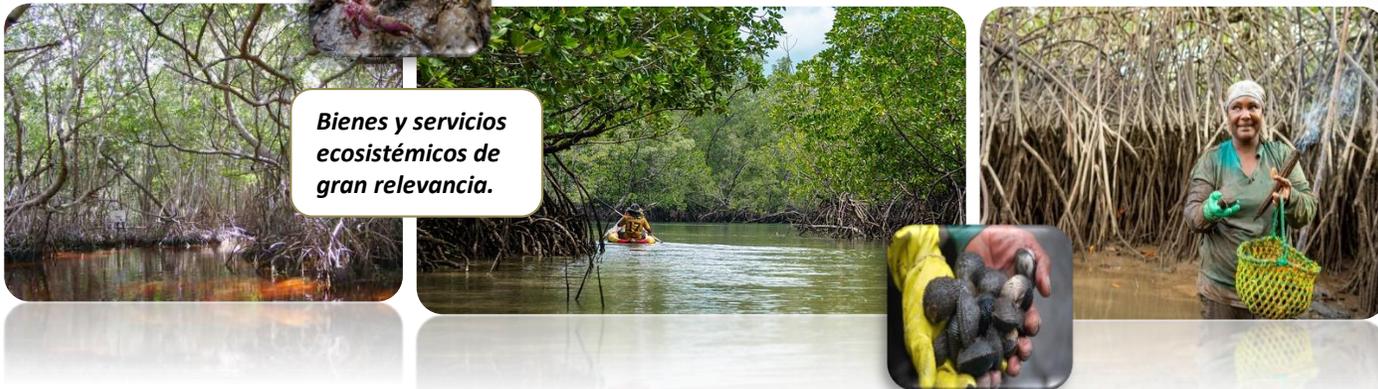
En la actualidad los estudios no solo se limitan a mapear su extensión y distribución, sino que se han sumado varios temas, tales como la caracterización de los procesos ecosistémicos que se desarrollan en ellos y la recuperación de información de parámetros biofísicos.

Parámetros biofísicos:

- Altura del dosel
- Biomasa



Bienes y servicios ecosistémicos de gran relevancia.



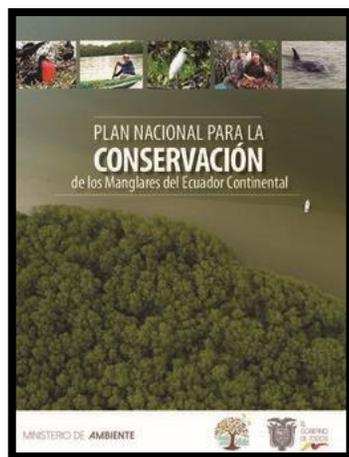
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Distribución de los bosques de manglares a lo largo de la costa ecuatoriana



Fuente: (Morochó, 2022)



Se mencionan una serie de acciones prioritarias a ejecutar, entre las cuales se tiene planificado realizar estudios de extensión y análisis multitemporales de los cambios en la superficie de los manglares.

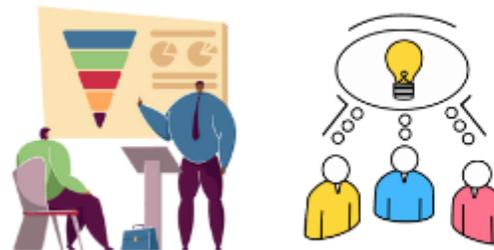
Sin tomar en cuenta ningún tipo de estudios de parámetros estructurales. Sin embargo, diferentes autores sugieren incluir estos tipos de estudios, principalmente de la altura del dosel, ya que permite determinar la salud de los bosques, estimar la biomasa, cuantificar el carbono almacenado y monitorear su desarrollo, con lo que se puede llevar un mejor seguimiento de estos ecosistemas

(de Souza-Pereira et al., 2016; Feldpausch et al., 2012; Riel et al., 2018).

Debido a la alta relevancia ecológica y económica de los manglares, hoy en día existe una demanda urgente de medidas de conservación y restauración, que implican la generación de información actualizada sobre las condiciones en que se encuentran los ecosistemas de manglares.



El presente estudio busca contribuir a las estrategias de conservación de los manglares en el país, mediante un modelo de las alturas del dosel de los manglares de la provincia de El Oro para el año 2021.



Cuenten con información base para investigaciones relacionadas a la altura del dosel.

Tomadores de decisiones (MAATE, GAD provincial, GAD cantonales, GAD parroquiales, supervisores de las concesiones forestales de manglares, encargados de áreas protegidas, entre otros)



Servicios ecosistémicos



ÁREA DE ESTUDIO

Región: Costa

Provincia: El Oro

Cantones:
Huaquillas, Arenillas,
Santa Rosa, Machala,
El Guabo

Piso Climático: Tierras Bajas

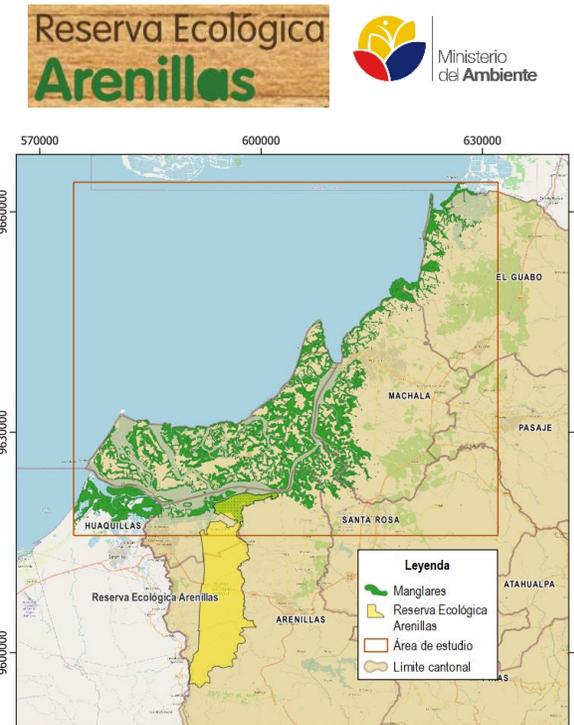
Bioma: Manglar y zona marino-costera

Temperatura: 25° a 26°C

Los manglares se ubican a una altitud entre 0 y 10 metros.



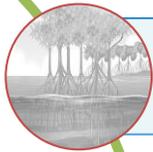
Área de intervención



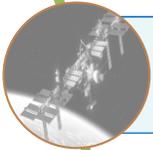
OBJETIVO GENERAL

Modelar las alturas del dosel de los manglares en la provincia de El Oro para el año 2021, empleando datos LiDAR y SAR en un algoritmo de Inteligencia Artificial dentro del entorno de computación en la nube Google Earth Engine (GEE), con el fin de apoyar a la gestión de conservación del ecosistema manglar en el Ecuador.

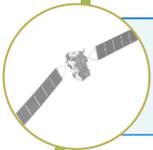
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:



Aplicar el algoritmo de regresión Random Forest usando los datos de altura LiDAR y retrodispersión SAR para generar un modelo de alturas del dosel de los manglares en la provincia del Oro, para el año 2021.



Validar estadísticamente el modelo de alturas del dosel de los manglares con datos de prueba de la misión LiDAR GEDI, con el fin de evaluar la calidad del modelo.



Desarrollar una aplicación web de visualización del estudio en la plataforma GEE como apoyo a las estrategias de conservación de los ecosistemas marino-costeros del país.



Generar una guía para la gestión ambiental de los bosques de manglar ubicados en la cuenca hidrográfica del Río Pagua en base a los resultados obtenidos del aplicativo web.

METAS



Mosaico de imágenes SAR Sentinel-1 para el área de estudio.



Modelo de alturas a escala 1:25 000.



Conjunto de datos de entrenamiento.



Conjunto de datos de prueba.



Código fuente de la aplicación.



Aplicación web para la visualización de resultados, con las opciones habilitadas de exportación y descarga de los datos de entrada empleados en el estudio.



Documento para la gestión ambiental de los bosques de manglares ubicados en la cuenca hidrográfica del Río Pagua, cantón El Guabo en base a los resultados obtenidos del modelamiento de las alturas del dosel.

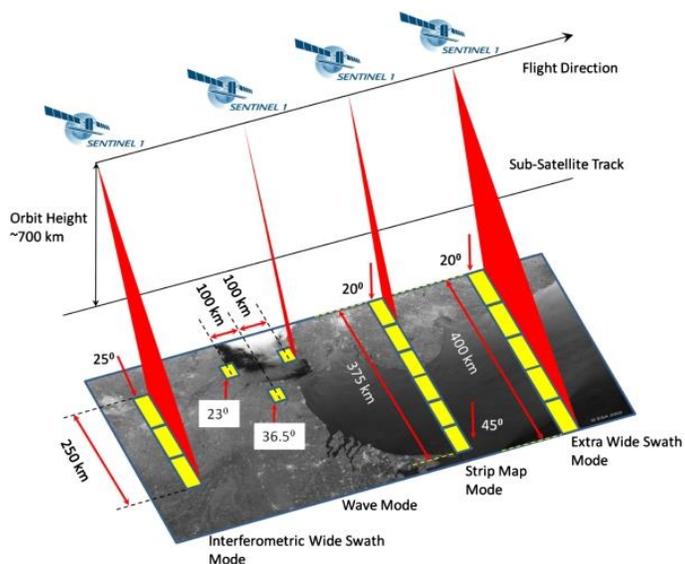
FUNDAMENTO TEÓRICO

MISIÓN SENTINEL 1

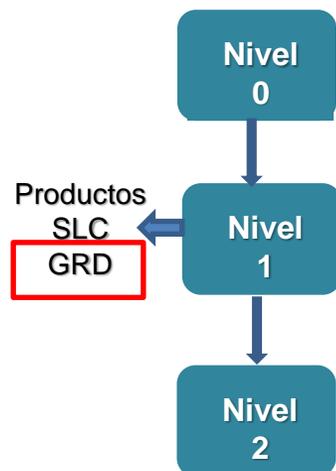
Características

- Misión 1A y 1B
- Banda C: 5,405 GHz / 5 cm
- Órbita: Ascendente y Descendente
- Polarización: VV, VH, HH y HV
- Resolución Temporal: 12 días / 6 días

Modo de adquisición



Niveles de adquisición

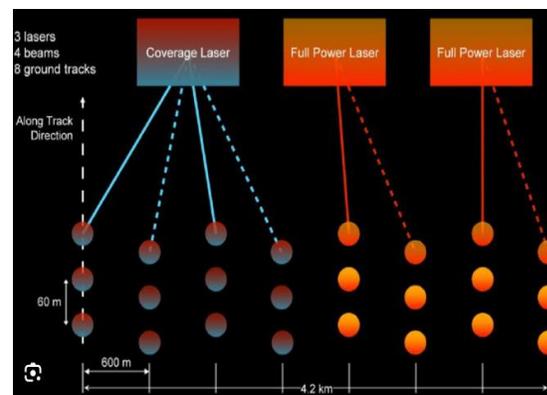


MISIÓN GEDI

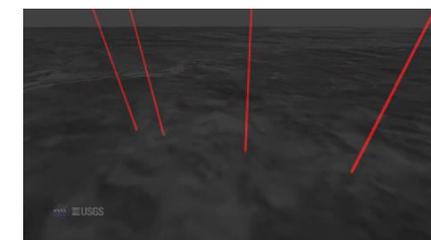
Características

- Fecha de lanzamiento 4 de diciembre del 2018
- Banda NIR: 1,064 nm
- Órbita: heliosíncrona
- GEDI utiliza un sistema LIDAR (Light Detection and Ranging)
- Período Orbital: 95 minutos

Modo de adquisición



Se dispara un pulso de energía láser de infrarrojo cercano hacia la superficie donde se refleja en hojas y ramas dentro de una huella de diámetro nominal de 25 m



Niveles de Procesamiento



Métricas de la elevación del suelo, la altura superior del dosel y la altura relativa (métricas de RH)

METODOLOGÍA

FASES



Plataforma de procesamiento y análisis



Lenguaje de programación

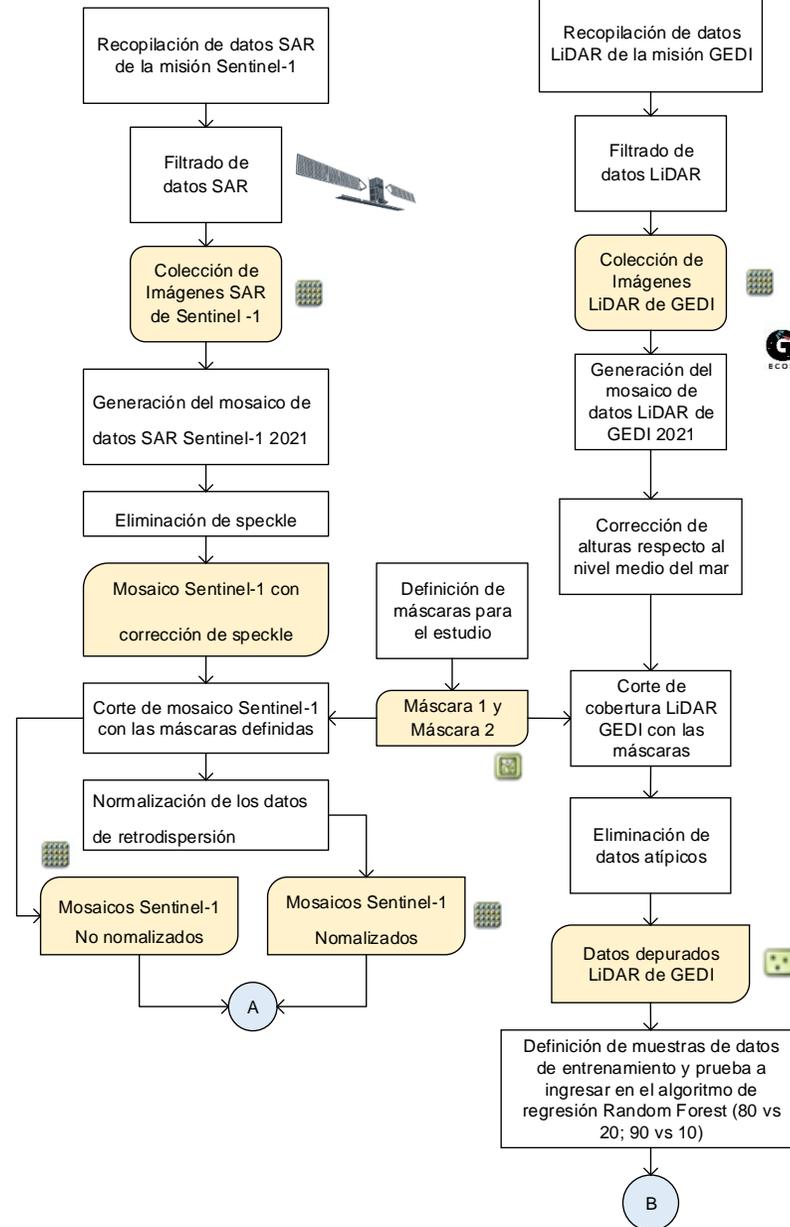


Software



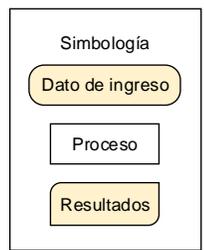
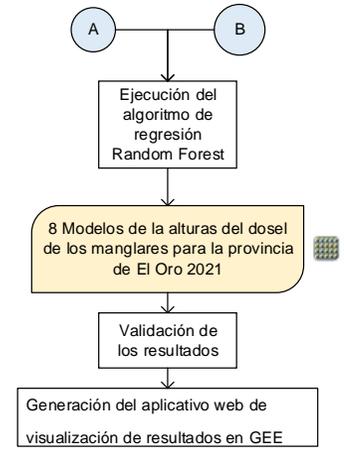
Fase 1. Obtención de los datos

Fase 2. Preprocesamiento de datos



Fase 3. Procesamiento de datos

Fase 4. Validación y obtención de resultados



METODOLOGÍA

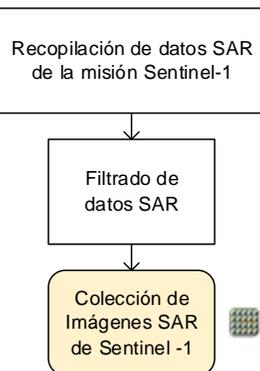
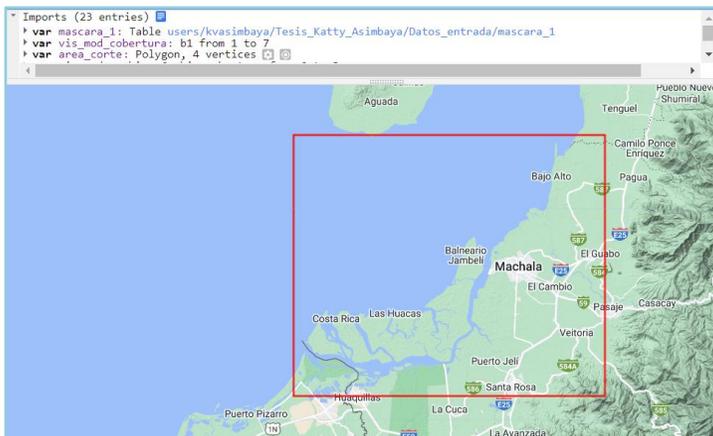
Fase 1: Obtención de los datos

Obtención de las Imágenes de Sentinel-1



1

Determinación del área de estudio



Colección: Sentinel-1 SAR GRD: Rango de Tierra del Radar de Apertura Sintética de banda C Detectado, escala logarítmica

2



```
ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")
```

Características para los datos de Sentinel-1

Especificaciones	Descripción
Fechas de captura	01-01-2021 al 31-12-2021
Modo de adquisición	Interferometric Wide Swath Mode (IW) TOPSAR
Nivel de procesamiento	Nivel 1 - Ground Range Detected (GRD)
Polarización	Dual VV y VH
Dirección	Descendente
Resolución geométrica	5x 20 m
Sistema de Referencia	WGS 84

Fuente: Agencia Espacial Europea (ESA)



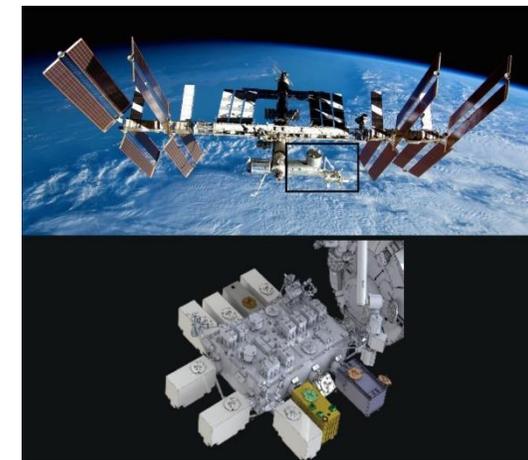
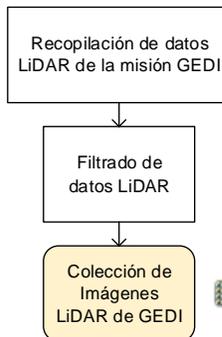
La colección en GEE contiene escenas S1 (GRD) calibradas y ortorectificadas, gracias al preprocesamiento realizado en la misma plataforma Earth Engine con la herramienta Sentinel-1 Toolbox.



METODOLOGÍA

Fase 1: Obtención de los datos

Obtención de datos de GEDI



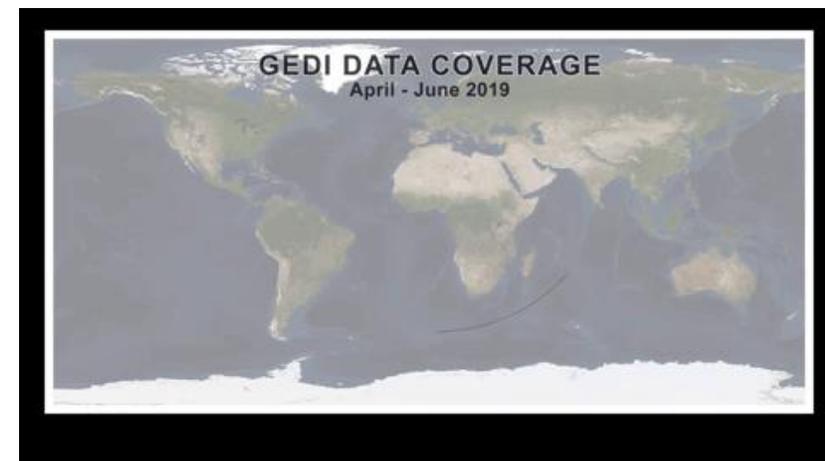
Colección: Altura superior del dosel ráster GEDI L2A

```
ee.ImageCollection('LARSE/GEDI/GEDI02_A_002_MONTHLY')
```

Características de filtrado para los datos de GEDI

Especificación	Descripción
Fechas de captura	01-01-2021 al 31-12-2021
Nivel de procesamiento	Nivel 2A Geolocated Elevation and Height Metrics Product
RH	rh99
Resolución espacial	~25 m
Sistema de Referencia	WGS 84

Fuente: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)



El conjunto de datos LARSE/GEDI/GEDI02_A_002_MONTHLY es una versión ráster del producto GEDI02_A original. Las imágenes rasterizadas están organizadas como composiciones mensuales de órbitas individuales en el mes correspondiente.

METODOLOGÍA

Fase 2: Preprocesamiento de datos

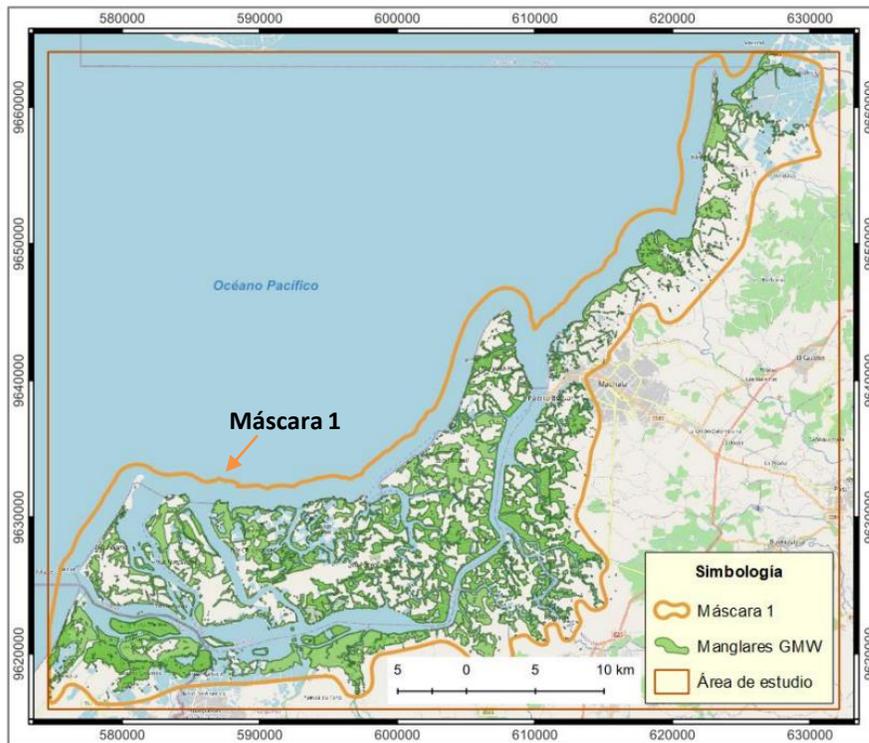
Definición de máscaras para el análisis del modelamiento

QGIS



La estrategia de emplear dos máscaras diferentes permitió evaluar cómo la inclusión o exclusión del entorno circundante afectaba la precisión y eficacia del modelo de predicción de la altura del dosel de los manglares.

MÁSCARA 1



MÁSCARA 2



METODOLOGÍA

Fase 2: Preprocesamiento de datos

Preprocesamiento de Imágenes Sentinel-1

1. Generación del mosaico de datos SAR Sentinel-1 para el año 2021

Función en GEE: "mean()".

01/01/2021 al 31/12/2021

17 imágenes Sentinel - 1

Mosaico Sentinel -1 2021



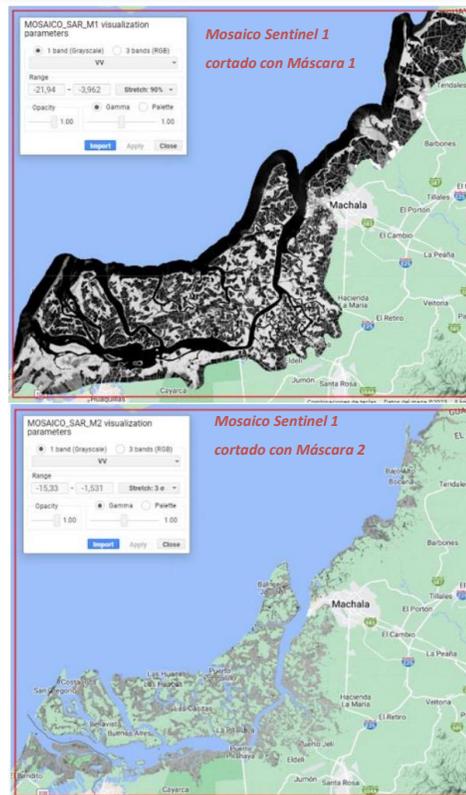
2. Eliminación de "speckle" en el mosaico de datos SAR Sentinel-1

Función en GEE: "focal_mean()".



3. Importación de máscaras (Máscara 1 y 2) a GEE para el corte del mosaico de Sentinel-1

Función en GEE: "clip()".



4. Normalización de datos de los mosaicos de Sentinel-1

¿La normalización de los datos SAR tiene un impacto significativo en la precisión y capacidad predictiva de los modelos?

Ecuación empleada:

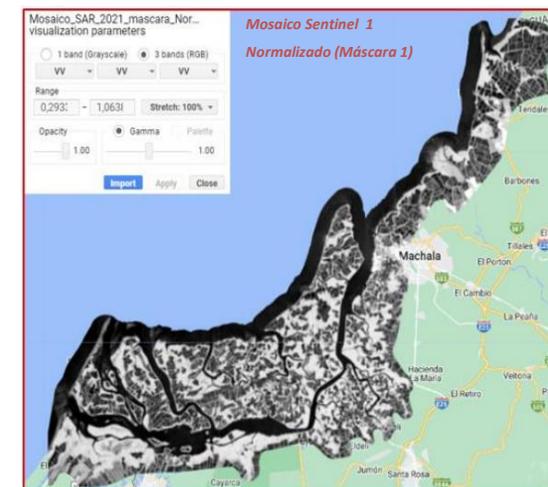
$$X_{new} = \frac{x}{X_{max}}$$

Donde:

X = Un valor del conjunto de datos

X max = El valor máximo del conjunto de datos

X new = Nuevo valor normalizado



METODOLOGÍA

Fase 2: Preprocesamiento de datos

Preprocesamiento de datos de GEDI

1. Generación del mosaico de datos

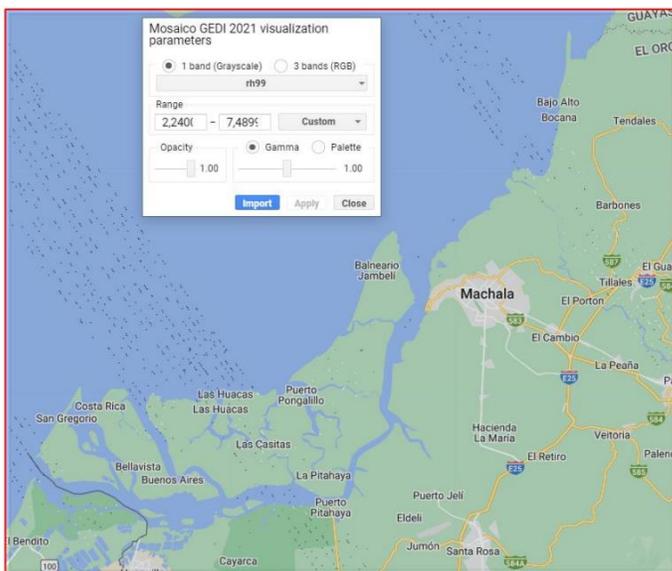
LiDAR para el año 2021

Función en GEE: "mean()".

01/01/2021 al 31/12/2021

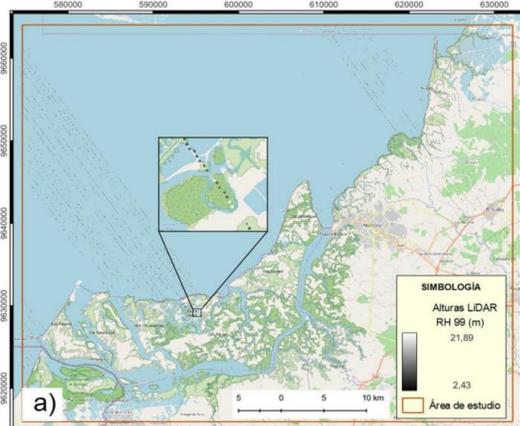
12 imágenes GEDI 2021

Mosaico GEDI 2021

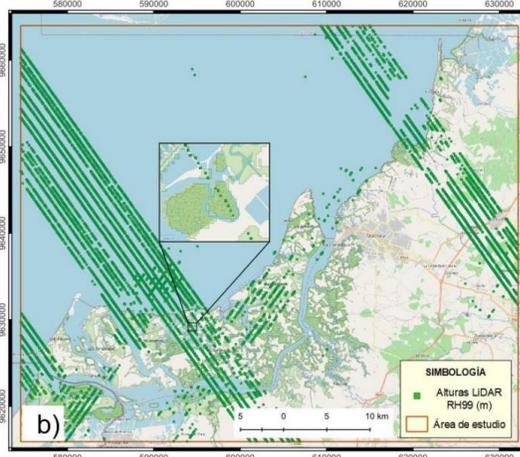


2. Transformó el mosaico LiDAR a una capa vectorial

Raster Mosaico GEDI 2021



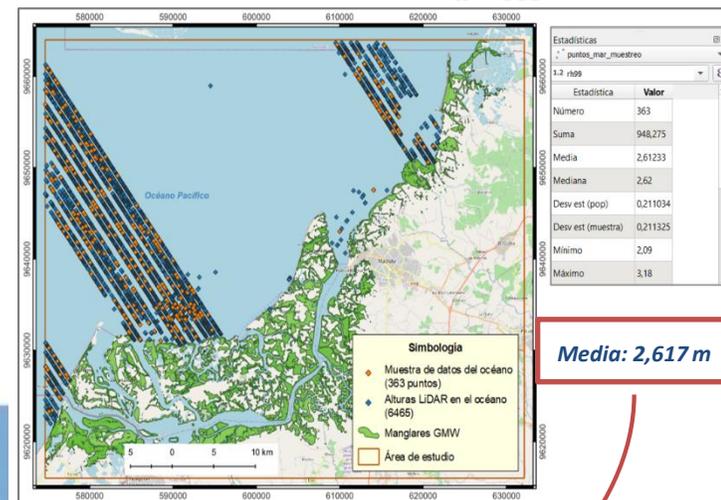
Cobertura vectorial



3. Corrección de alturas respecto al nivel medio del mar

Muestreo aleatorio simple
 Datos en el mar: 6465 huellas $n = \frac{(6465) \cdot (0.5)^2 \cdot (1.96)^2}{(6465 - 1) \cdot (0.05)^2 + (0.5)^2 \cdot (1.96)^2}$

$n \approx 363$



Media: 2,617 m

Sin corrección

Con corrección

ide 6322
 rh99 2,6099998
 RH_lidar 2,610

Alturas de oro — Field Calculator

Expresión Editor de funciones
 "rh99" - 2.617

ide 6322
 rh99 2,609999895100000
 RH_lidar 2,610
 rh99_c -0,007

METODOLOGÍA

Fase 2: Preprocesamiento de datos

4. Corte de cobertura de datos LiDAR en base a las máscaras definidas

Corte datos LiDAR con Máscara 1



Corte datos LiDAR con Máscara 2



Preprocesamiento de datos de GEDI

5. Depuración de datos LiDAR

Se eliminaron datos atípicos que pudieron ser resultantes de errores en la medición, ruido en los datos o indicar características inusuales o extremas del terreno.

Ejemplo



6. Definición de muestras de datos de entrenamiento y prueba a ingresar en el algoritmo de regresión Random Forest

Validación cruzada

Aplicado a Máscara 1 y Máscara 2

- Grupo 1
 - 80% destinados al entrenamiento
 - 20% restante para la validación
- Grupo 2
 - 90% destinados al entrenamiento
 - 10% restante para la validación



Alt_LiDAR_mascara1_depurado_1— Objetos Totales: 2326, Filtrados: 2326, Seleccionados: 0

	rh99	rh99_c	alt_int	rand
1	16,3899990000	13,7776690000	137777	0,000574322
2	2,7599999000	0,1476699	1477	0,000888828
3	2,7300000000	0,11767	1177	0,001106966
4	3,0999999000	0,4876699	4877	0,001179155
5	2,5399999000	-0,0723301	-723	0,001208353
6	3,6300001000	1,0176701000	10177	0,001847079
7	9,6599998000	7,0476698000	70477	0,002178604
8	17,6000003000	14,9876703000	149877	0,002561019
9	2,2100000000	-0,40233	-4023	0,00285834
10	7,8200001000	5,2076701000	52077	0,002937072
11	4,3699998000	1,7576698000	17577	0,003472265
12	4,2199997000	1,6076697000	16077	0,003950189

Valores entre 0 y 1

valores menores o igual que 0.9

Filtro en GEE : `filter(ee.Filter.lte('rand',0.9))`

valores mayores que 0.9

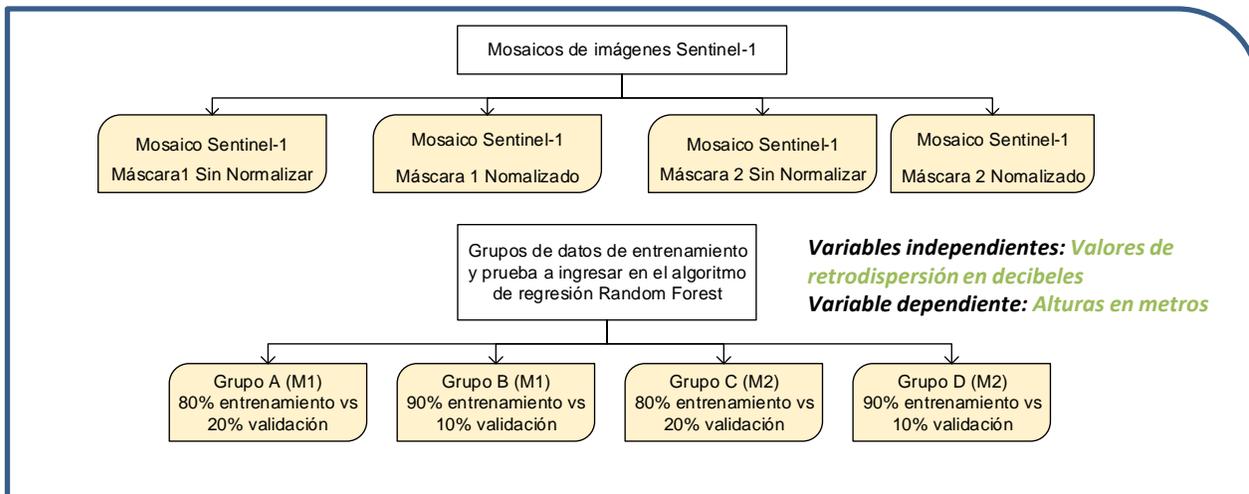
Filtro en GEE : `filter(ee.Filter.gt('rand',0.9))`

METODOLOGÍA

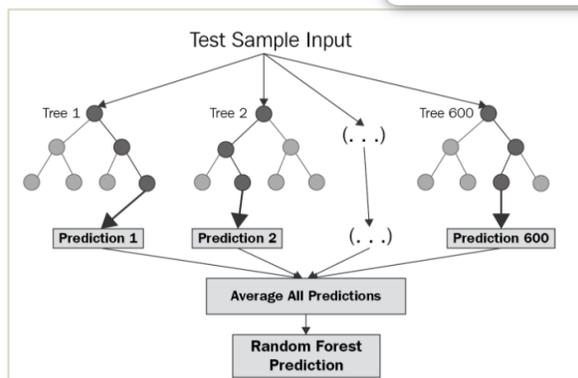
Fase 3: Procesamiento de datos

Ejecución del algoritmo de Regresión Random Forest

Datos de entrada



Función ML: "ee.Regression.randomForest ()".



8 Modelos de la alturas del dosel de los manglares para la provincia de El Oro 2021



Fase 4: Validación de los resultados

Evaluación de la precisión de los modelamientos

Se evaluó los grupos destinados a la validación, empleando la métrica RMSE, o Root Mean Square Error (Error de la Raíz Cuadrada de la Media).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Predicted_i - Actual_i)^2}{N}}$$

```
//Generación de RMSE
function error (fc){
  var rh99 = ee.Number(fc.get('rh99_c'));
  var altura = ee.Number(fc.get('predicted'));
  var diferencia = altura.subtract(rh99);
  var primerof = fc.set('diferencia', diferencia);
  primerof = primerof.set('cuadrado', diferencia.pow(2));
  return primerof;
}
var datosValidacion = datosValidacion.map(error);
print('datosValidacion', datosValidacion.toList(5));
var suma = ee.Reducer.sum();
var suma_cuadrado = datosValidacion.reduceColumns({
  reducer: suma,
  selectors: ['cuadrado']});
suma_cuadrado = ee.Number(suma_cuadrado.get('sum'));
print('suma_cuadrado', suma_cuadrado);
var n_puntos = ee.Number(datosValidacion.size().getInfo());
var div = suma_cuadrado.divide(n_puntos);
print('div', div);

var rmse = div.pow(0.5);
print('rmse', rmse);
```

METODOLOGÍA



Fase 4: Creación del geovisor y publicación de resultados

Creación de repositorio de información

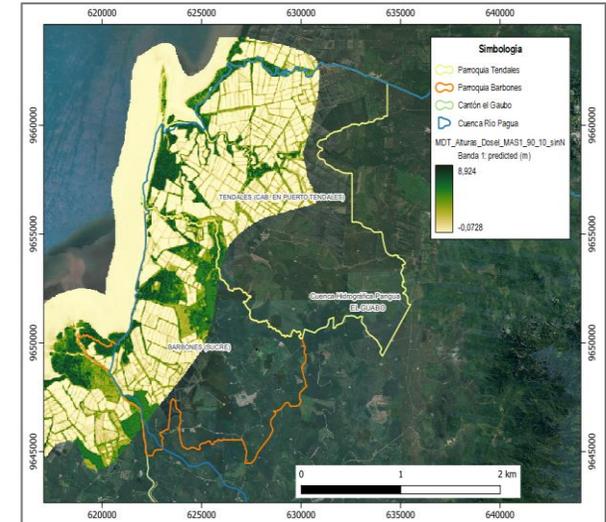
JavaScript



Guía para la gestión ambiental de los bosques de manglar ubicados en la cuenca hidrográfica del Río Pagua en base a los resultados obtenidos del aplicativo web.

The screenshot shows the Google Earth Engine web interface. The left sidebar displays a project tree with folders like 'Scripts', 'Assets', and 'users/kvasimbaya'. The main area contains a code editor with JavaScript code for a geovisualization application. The code includes comments in Spanish and defines variables for map layers, labels, and styling. The right sidebar shows the 'Inspector' and 'Console' tabs, with the console displaying a welcome message.

ANEXO A



Google Earth Engine

The 'Manage Apps' interface shows two application listings. The first listing is for 'cloud/tesis-kvasimbaya' and contains one app: 'Geovisor Tesis Katty Asimbaya'. The second listing is for 'users/kvasimbaya' and contains two apps: 'GEOVISOR TESIS KATTY ASIMBAYA' and 'Tesis_Asimbaya_Katty'. Each app entry includes a name, an update link, and a delete button.



RESULTADOS

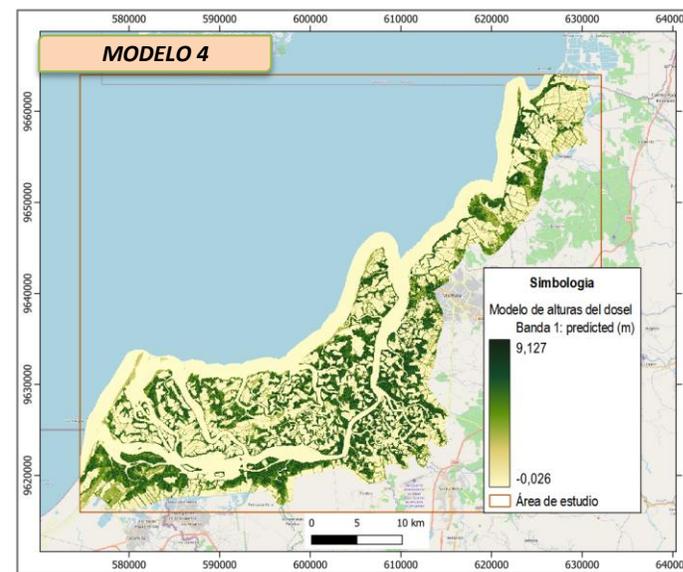
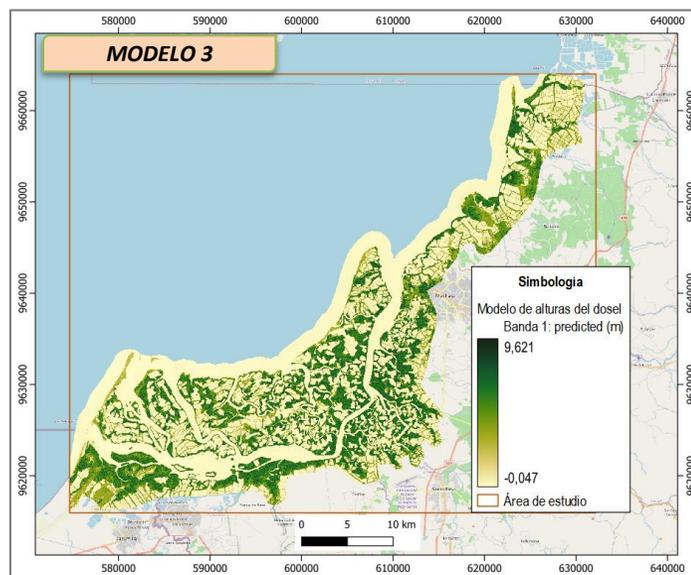
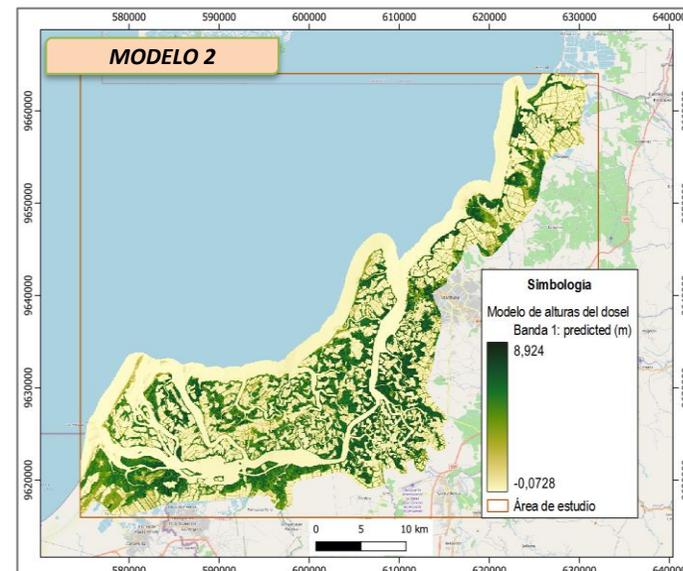
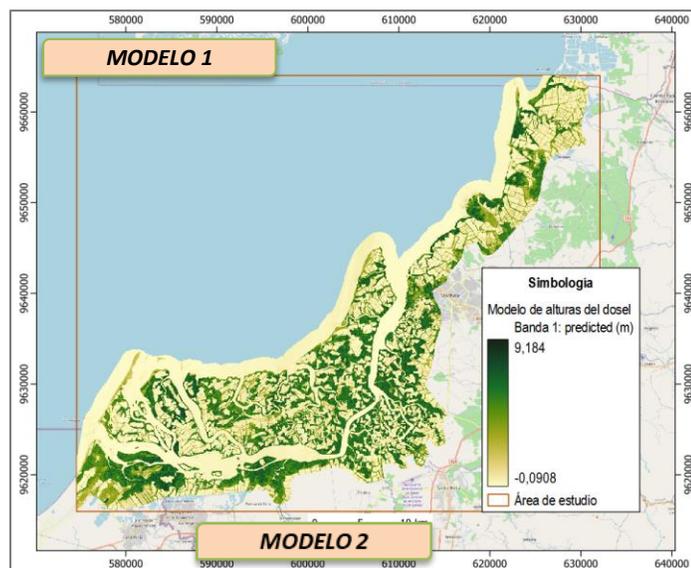
Resultados de la ejecución de regresión del algoritmo de regresión Random Forest

MODELOS DE ALTURA DEL DOSEL GENERADOS A PARTIR DE LA MÁSCARA 1

Máscara empleada	Identificador	Datos de entrada
MÁSCARA 1	MODELO 1	Grupo A de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M1
	MODELO 2	Grupo B de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M1
	MODELO 3	Grupo A de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M1_NORMALIZADO
	MODELO 4	Grupo B de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M1_NORMALIZADO

Grupos de entrenamiento y validación de alturas LiDAR correspondientes a la Máscara 1

Nombre	Grupos de entrenamiento y validación	Identificador	Cantidad de huellas
Grupo A	80% entrenamiento vs	Alt_entrenamiento_masc1_80_20	1854
	20% validación	Alt_validacion_masc1_80_20	472
Grupo B	90% entrenamiento vs	Alt_entrenamiento_masc1_90_10	2087
	10% validación	Alt_validacion_masc1_90_10	239



RESULTADOS

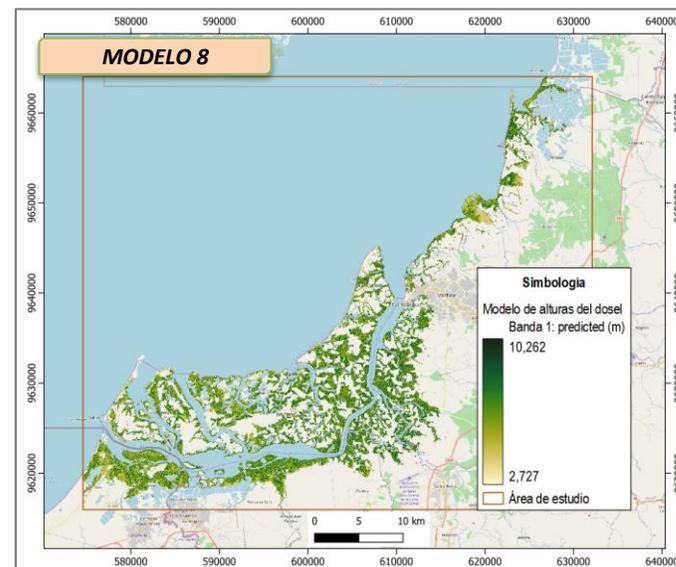
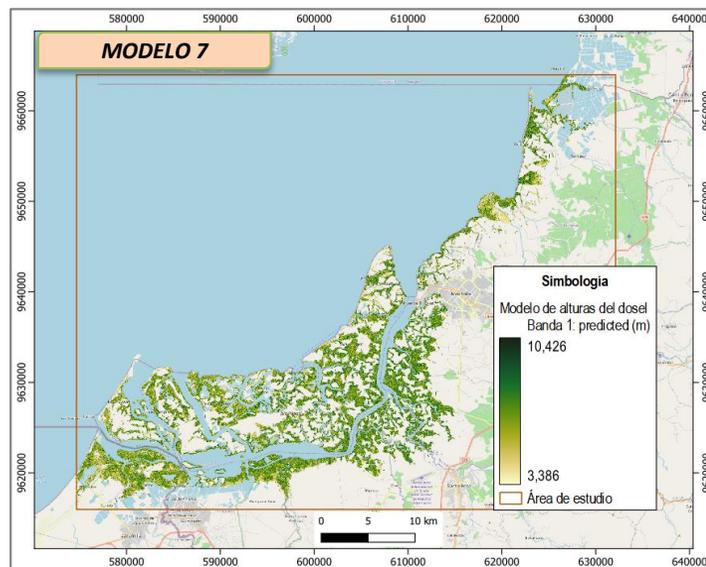
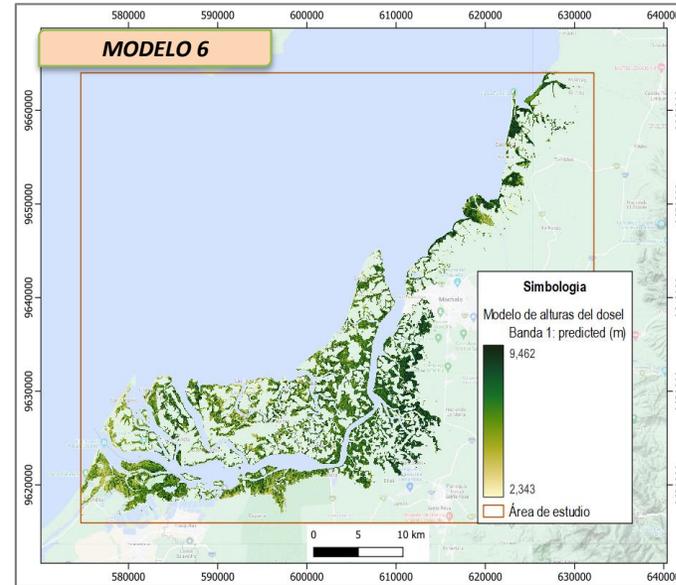
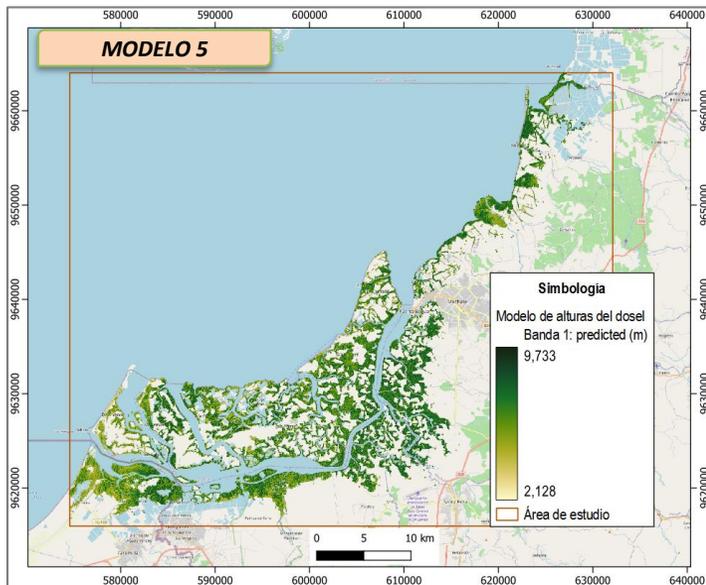
Resultados de la ejecución de regresión del algoritmo de regresión Random Forest

MODELOS DE ALTURA DEL DOSEL GENERADOS A PARTIR DE LA MÁSCARA 2

Máscara empleada	Identificador	Datos de entrada
MÁSCARA 2	MODELO 5	Grupo C de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M2
	MODELO 6	Grupo D de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M2
	MODELO 7	Grupo C de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M2_NORMALIZADO
	MODELO 8	Grupo D de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M2_NORMALIZADO

Grupos de entrenamiento y validación de alturas LiDAR correspondientes a la Máscara 2

Nombre	Grupos de entrenamiento y validación	Identificador	Cantidad de huellas
Alturas correspondientes a la Máscara 2			
Grupo C	80% entrenamiento vs 20% validación	Alt_entrenamiento_masc2_80_20	917
		Alt_validacion_masc2_80_20	223
Grupo D	90% entrenamiento vs 10% validación	Alt_entrenamiento_masc2_90_10	1034
		Alt_validacion_masc2_90_10	106



RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

Resultados de los RMSE obtenidos para los modelos de alturas del dosel de los manglares



Modelo ID	Conjunto de datos	RMSE (metros)	Tiempo de procesamiento
Modelo 1	Grupo A de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M1 Sin Normalizar	3,003	13.27 segundos
Modelo 2	Grupo B de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M1 Sin Normalizar	2,863	12.99 segundos
Modelo 3	Grupo A de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M1 Normalizado	3,0164	12.05 segundos
Modelo 4	Grupo B de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M1 Normalizado	2,999	11.55 segundos
Modelo 5	Grupo C de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M2 Sin Normalizar	3,933	8.46 segundos
Modelo 6	Grupo D de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M2 Sin Normalizar	3,935	8.39 segundos
Modelo 7	Grupo C de alturas LiDAR (80% entrenamiento vs 20% validación) y MOSAICO_SAR_M2 Normalizado	3,993	7.70 segundos
Modelo 8	Grupo D de alturas LiDAR (90% entrenamiento vs 10% validación) y MOSAICO_SAR_M2 Normalizado	3,974	8.89 segundos

Dado que un RMSE más bajo indica un mejor ajuste a los datos reales, se analiza que el Modelo 2 derivado de la Máscara 1, presentó un RMSE bajo de 2.863 metros. Por otro lado, de los modelos derivados de la Máscara 2, el Modelo 5 presentó un RMSE bajo de 3.933 metros.

Diferencia entre RMSE:
Modelos 1 y 3 RMSE : -0,0128 m
Modelos 2 y 4 RMSE : -0,136 m
Modelos 1 y 3 RMSE : -0,06 m
Modelos 1 y 3 RMSE : -0,039 m



Respecto al tiempo de ejecución ningún proceso de generación de los 8 modelos resultantes, sobrepasó los 13 segundos.

RESULTADOS



Resultados de la generación del aplicativo web de visualización de resultados en GEE

JavaScript



Resultados de los códigos fuentes elaborados

Los códigos fuentes elaborados en la plataforma GEE, se

encuentran completamente asequible a cualquier usuario mediante los siguientes links:

- Link para la acceder al código de obtención de los datos:
[kvasimbaya/obtención y preprocesamiento de datos](https://kvasimbaya.com/obtencion_y_preprocesamiento_de_datos)
- Link para acceder al código de las fases de procesamiento y validación: [kvasimbaya/procesamiento y validación de datos](https://kvasimbaya.com/procesamiento_y_validacion_de_datos)
- Link para acceder al código con el que fue elaborado el geovisor de resultados:

[kvasimbaya/geovisor resultados](https://kvasimbaya.com/geovisor_resultados)

Código QR de acceso al aplicativo web



The screenshot displays the Earth Engine web application interface. On the left, there is a metadata panel for a project titled "GEOVISOR DEL PROYECTO: 'MODELAMIENTO DE LAS ALTURAS DEL DOSEL DE LOS MANGLARES EN LA PROVINCIA DE EL ORO, EMPLEANDO DATOS SAR Y LIDAR EN UN ALGORITMO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL'". The author is Katty Asimbaya, and the project is associated with ESPE (Universidad de las Fuerzas Armadas - Ecuador). The panel includes a summary of the project, a list of layers (MOSAICOS SAR SENTINEL1 (dB) 2021 and MOSAICO SAR M2), and a search bar. The main area shows a map of Machala, Ecuador, with various geographical features and labels. The map is recorded with iTop Screen Recorder.

Link de acceso

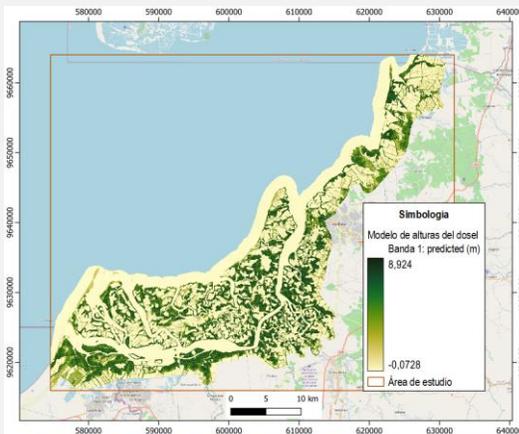
<https://tesis-kvasimbaya.projects.earthengine.app/view/geovisor-tesis-katty-asimbaya>

CONCLUSIONES

1

La aplicación del algoritmo de regresión Random Forest empleando datos de retrodispersión SAR Sentinel -1 y LiDAR de GEDI permite generar modelos de predicción de alturas del dosel de los manglares.

Modelo 2



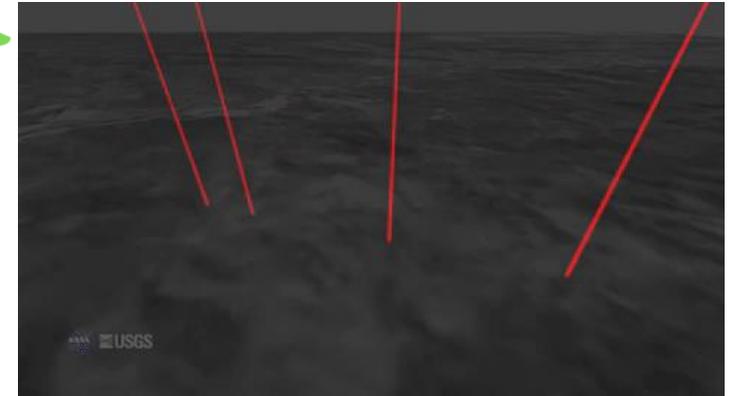
Google Earth Engine

2

Las precisiones del Modelo 2 (2,863 metros) y del Modelo 5 (3,933 metros) correspondientes a los modelos con los RMSE más bajos son aplicables para la escala relativa de 1: 25 000.

No se puede garantizar que todo el modelo alcance esta precisión debido a la falta de datos de entrenamiento y validación a lo ancho de las pistas de datos que están separadas por 600 metros.

Modo de adquisición de datos de GEDI



La escala si aplica a lo largo de pista de datos



3

La normalización de los datos SAR del Mosaico Sentinel-1, no tiene un impacto significativo en el rendimiento de los modelos.

Diferencia entre RMSE:
Modelos 1 y 3 RMSE : -0,0128 m
Modelos 2 y 4 RMSE : -0,136 m
Modelos 1 y 3 RMSE : -0,06 m
Modelos 1 y 3 RMSE : -0,039 m



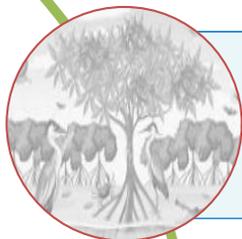
Google Earth Engine

4

Se logró el desarrollo de una aplicación web utilizando la plataforma Google Earth Engine (GEE), la cual brinda a los usuarios la oportunidad de visualizar y descargar los datos de entrada así como resultados de la investigación.



RECOMENDACIONES



Con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos en la investigación, se recomienda tomar muestras de altura del dosel de los manglares en campo y verificarlas con los modelos propuestos.

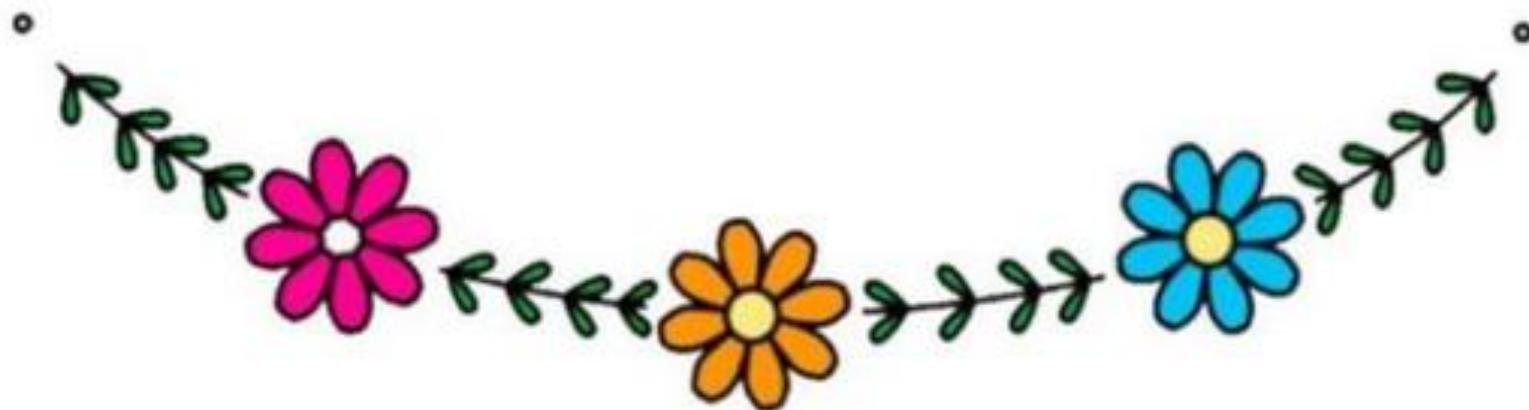


A los profesionales y estudiantes en el ámbito de la geografía, se les recomienda adquirir destrezas en programación, con el objetivo de ampliar la capacidad para llevar a cabo investigaciones vinculadas a la conservación ambiental.



Se recomienda también el desarrollo de Apps en GEE, para la presentación de resultados de investigaciones, ya que es una alternativa gratuita y en línea que ofrece un amplio alcance a tomadores de decisiones, comunidad académica y público en general de manera eficiente.

Muchas
GRACIAS





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE”

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

“Modelamiento de las alturas del dosel de los manglares en la Provincia de El Oro, empleando datos SAR y LiDAR en un algoritmo de Inteligencia Artificial”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE



Autora:

Asimbaya Socasi Katty Vanessa

Director de Carrera:

Ing. Robayo Nieto, Alexander MSc.

Director del Proyecto:

Ing. Oswaldo Padilla, PhD.

Docente Evaluador:

Ing. Eduardo Kirby, MSc.