



4P

Observando el manglar desde el espacio

Ing. Karina Elizabeth González Muñoz

M. C. Víctor Alexis Peña Lara

M. C. Luis Ángel Hernández Martínez

M. C. Fernando Tun Dzul

Dr. José Luis Hernández Stefanoni

Unidad de Recursos Naturales
(Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota)

Descripción

Las y los participantes adquirirán conocimientos básicos y desarrollarán habilidades para consultar y utilizar imágenes de la cobertura terrestre tomadas por satélites. Para ello, usarán la plataforma de procesamiento **Google Earth Engine**, donde se diseñará una serie de instrucciones para conocer la cobertura del **manglar**.

Objetivo general

Aprender a consultar y procesar **imágenes de satélite** a través de herramientas de cómputo gratuitas para conocer la distribución de los manglares en un área de la península de Yucatán.



Materias afines

- Geografía.
- TICs.
- Ciencia y tecnología.
- Ecología.

¿Qué vas a aprender?

- La importancia de los manglares.
- Los conceptos básicos de la **percepción remota**.
- Uso de la herramienta Google Earth Engine.
- Generación de un mapa de la cobertura de manglar.

Pregunta inicial

¿Cómo puedo conocer la superficie del manglar que hay en un sitio?



PANORAMA GENERAL DEL TEMA

Los manglares son ecosistemas únicos que se encuentran en la zona costera, entre el mar y la tierra. Estos bosques desempeñan un papel fundamental al proporcionar una amplia gama de **servicios ecosistémicos** vitales, tanto para el medio ambiente como para las comunidades humanas. Entre estos servicios que proporcionan se incluye su función como refugio y hogar para numerosas especies, así como su importante papel en la protección contra tormentas y huracanes al funcionar como una barrera natural que disminuye la fuerza de las olas y protege las áreas costeras. Además, los manglares son una fuente de alimento para diversos organismos marinos, como peces y crustáceos, que dependen de ellos durante su ciclo de vida (Velázquez-Salazar, 2021).

Por otro lado, como beneficios indirectos, los manglares desempeñan un papel crucial en la mitigación del cambio climático. Tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de carbono, incluso más que los bosques tropicales. Esta capacidad de almacenamiento de carbono, especialmente por su ubicación cerca de la costa, se conoce como «carbono azul» (Herrera Silveira et al., 2016). Sin embargo, a pesar de su importancia, los manglares enfrentan diversas amenazas que ponen en riesgo su

supervivencia. Estas amenazas son: el crecimiento urbano, la ganadería, la agricultura intensiva, la contaminación y el cambio climático; factores que contribuyen a la pérdida y degradación de los manglares en muchas partes del mundo (López-Portillo et al., 2002).

Para comprender mejor la situación de los manglares y tomar medidas efectivas para su conservación, es crucial contar con información precisa sobre su distribución y extensión. En este sentido, la percepción remota, que implica el uso de imágenes de satélite para obtener datos sobre la superficie terrestre, se ha convertido en una herramienta esencial. Estas imágenes almacenan una gran cantidad de información en los píxeles que las conforman. Para procesar y analizar esta información, existen diferentes plataformas disponibles, como ArcGIS, QGIS, RStudio y Google Earth Engine (GEE).

En particular, GEE ofrece la posibilidad de utilizar imágenes del satélite Sentinel, desarrolladas por la Agencia Espacial Europea (ESA), que brindan datos gratuitos y de alta calidad para la monitorización de la Tierra. Estas imágenes son especialmente útiles en el estudio de los manglares debido a su



alta resolución espacial y temporal. Permiten identificar con precisión los manglares y distinguirlos de otros tipos de cobertura del suelo. Además, la misión Sentinel proporciona una cobertura global regular, lo que significa que se pueden obtener imágenes de los manglares en diferentes momentos y con la frecuencia necesaria para el monitoreo y seguimiento (Perilla et al., 2020).

Al combinar las imágenes de satélite Sentinel con herramientas de **análisis espacial**, como la **clasificación supervisada**, es posible realizar estudios detallados para saber qué porcentaje de área están ocupando los manglares (Borràs et al., 2017). Esto resulta especialmente relevante en el caso de los manglares en la península de Yucatán,

México, donde desempeñan un papel vital en la protección contra huracanes y son una fuente importante de ingresos a través del turismo. Entonces, la percepción remota se vuelve indispensable para determinar el porcentaje de distribución de los manglares, ya que realizar mediciones en campo sería una tarea costosa y llevaría mucho tiempo.

De esta manera, el uso de imágenes de satélite y plataformas como GEE nos permite obtener una visión más completa de la distribución espacial de los manglares. Esta información es fundamental para tomar decisiones informadas y desarrollar estrategias de manejo adecuadas que promuevan la conservación de estos valiosos bosques.



PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como finalidad despertar tu interés en la percepción remota y enseñarte cómo utilizarla para estudiar la vegetación, particularmente para conocer el porcentaje de extensión de diferen-

tes coberturas de suelo, especialmente los manglares. Pensando en ti, preparamos este sencillo ejercicio que te llevará de la mano para adentrarte en este fascinante mundo.



DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



Actividad 1. Introducción a la percepción remota.



Pregunta de investigación

¿Qué es la percepción remota?



Objetivo

Introducir a las y los estudiantes a los conceptos fundamentales de la percepción remota y mostrarles de manera práctica y relevante, explicando los principios básicos de la adquisición de datos remotos por medio de sensores.



Lista de materiales

- Cuaderno.
- Lápiz.
- Computadora con acceso a internet.



Desarrollo

- **Familiarízate con el tema:** lee atentamente el texto proporcionado, prestando atención a los conceptos clave como «percepción remota» y «teledetección». Comprende la definición y el propósito de esta disciplina científica.
- **Identifica los elementos involucrados:** toma nota de los diferentes componentes de la percepción remota, como los sensores ubicados en plataformas (satélites, aviones, drones), los objetos y fenómenos de la Tierra que se estudian, y la luz visible y no visible que se refleja, emite o absorbe.
- **Comprende la captura de datos:** aprende sobre cómo funcionan los sensores en la percepción remota. Entiende que los sensores capturan la energía electromagnética y la dividen en diferentes tipos según su ubicación en el espectro electromagnético.
- **Conoce los tipos de sensores:** aprende acerca de los sensores pasivos y activos. Comprende que los sensores pasivos capturan la energía del

Sol y se dividen en pancromáticos, multiespectrales e hiperespectrales, cada uno proporcionando información específica.

- **Explora el satélite Sentinel-2:** familiarízate con las características y ventajas del satélite Sentinel-2. Aprende sobre su resolución espacial, cobertura global y frecuencia de captura de imágenes. Además, puedes conocer sus 13 bandas espectrales que proporcionan información detallada sobre la superficie terrestre.
- **Reflexiona sobre la importancia de la percepción remota:** considera las aplicaciones prácticas de la percepción remota en el estudio del medio ambiente y la gestión de los recursos naturales. Reflexiona sobre cómo esta disciplina puede ayudarnos a comprender y preservar nuestro planeta.



Nota

Recuerda que al realizar la lectura es importante tomar notas, subrayar conceptos clave y buscar definiciones o ejemplos adicionales si es necesario para una mejor comprensión del tema.



Lectura: Percepción remota

La percepción remota o también llamada teledetección, es una disciplina/ciencia que consiste en obtener información de un objeto, área o fenómeno del planeta Tierra a distancia, incluso cuando se encuentra lejos de nosotros. La percepción remota se realiza mediante el uso de sensores que se ubican en plataformas, como los satélites, aviones o drones. Los sensores registran la luz, tanto visible como no visible, proveniente del Sol y que es reflejada, emitida o absorbida por los diferentes objetos y coberturas de la superficie terrestre como el agua, el suelo y la vegetación.

La información registrada por los sensores en el proceso de percepción remota se almacena generalmente en forma de imágenes digitales. Estas imágenes están formadas por muchos «cuadritos» pequeños llamados píxeles. Cada uno de estos píxeles tiene un número que nos ayuda a saber cuánta energía es reflejada o emitida por los objetos en la superficie terrestre (reflextancia). Los números que encontramos en las imágenes nos pueden brindar información valiosa sobre el estado de salud de la vegetación, la cantidad que ha disminuido o la presencia de agua en diferentes áreas, entre otras cosas.

Tipos de sensores

Un sensor es un dispositivo que detecta cambios en el entorno y los convierte en información útil. Hay muchos tipos de sensores, como el sensor de luz en nuestros teléfonos, que ajusta automáticamente el

brillo de la pantalla según la iluminación del entorno, o bien, los sensores en los satélites que nos ayudan a entender nuestro planeta.

Los sensores en los satélites capturan información utilizando la energía electromagnética que se divide en diferentes tipos según su ubicación en el espectro electromagnético. Los sensores tienen diferentes configuraciones para capturar rangos específicos del espectro, que posteriormente son almacenados en diferentes bandas.

Existen dos tipos de sensores: pasivos y activos. Los sensores pasivos capturan la energía del Sol y se dividen en tres categorías: pancromáticos (una banda, imágenes en blanco y negro), multiespectrales (una banda para cada región de energía) e hiperespectrales (cientos de bandas para obtener información más detallada). Por otra parte, los sensores activos emiten su propia energía.

El satélite Sentinel-2, es una constelación de satélites creados por la Agencia Espacial Europea; es especialmente útil, ya que ofrece imágenes con una alta resolución espacial de 10 metros en la mayoría de sus bandas. Tiene una cobertura global y captura imágenes cada 5 días. Con sus 13 bandas espectrales, proporciona información detallada sobre la superficie terrestre, lo cual es muy útil para estudiar el medio ambiente y gestionar nuestros recursos naturales.



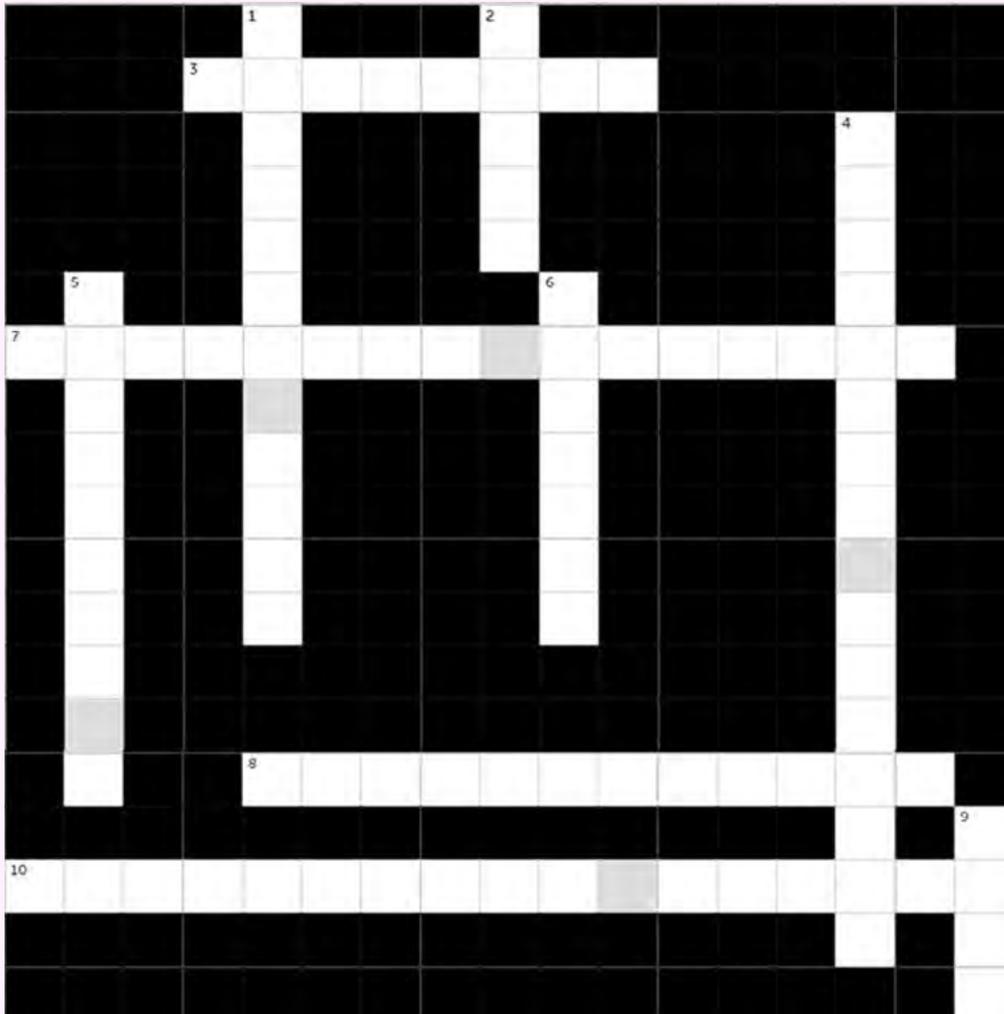
Completa el crucigrama

Horizontal

- 3. Plataforma espacial que orbita el planeta y captura imágenes.
- 7. Sensores que emiten su propia energía.
- 8. Medida de la energía reflejada por los objetos en la superficie terrestre.
- 10. Ciencia que permite estudiar los objetos sin entrar en contacto con ellos.

Vertical

- 1. Carbono almacenado en los humedales, incluidos los bosques de manglar.
- 2. Es la unidad mínima que contiene información en una imagen.
- 4. Sensores que captan la energía reflejada por los objetos.
- 5. Constelación de satélites creados por la Agencia Espacial Europea.
- 6. Bosque inundado que se localiza cerca de las costas.
- 9. Representación de la superficie terrestre en un plano.





Actividad 2. Conociendo la plataforma Google Earth Engine (GEE)



Pregunta de investigación

¿Cuáles son las aplicaciones de la plataforma GEE?



Objetivo

Que las y los estudiantes se familiaricen con GEE, adquiriendo habilidades básicas en el uso y navegación de la plataforma.



Lista de materiales

- Computadora con acceso a internet



Desarrollo

¿Qué es Google Earth Engine?

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma de acceso libre creada para brindar a las y los usuarios la posibilidad de procesar una gran cantidad de datos utilizando la capacidad de cómputo de Google. Se creó en el año 2010 y actualmente aloja una gran cantidad de productos de sensores remotos, como son las imágenes de los satélites Sentinel o Landsat (Gorelick et al., 2017).

En GEE se permite llevar a cabo diversos tipos de análisis, como son: clasificar tipos de vegetación, monitorear la deforestación o evaluar el efecto de los incendios forestales. Para ello, puede aprovecharse la vasta colección de productos de sensores remotos disponibles en la plataforma, cuyo procesamiento no depende de la capacidad de la computadora del usuario (*hardware*).

Para acceder a GEE debe realizarse un registro y solicitar la creación de una cuenta

(Figura 1). Es necesario ingresar en la siguiente liga: <https://code.earthengine.google.com/register>, y llenar los campos requeridos. Debe solicitarse una cuenta con fines académicos y sin fines de lucro para que el servicio sea gratuito.

Figura 1. Creación de la cuenta (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

Componentes de Google Earth Engine

Una vez abierto Google Earth Engine, se observan cuatro pantallas (Figura 2): la pantalla de repositorios, la pantalla de rutinas, la pantalla de mapa y la pantalla de control.

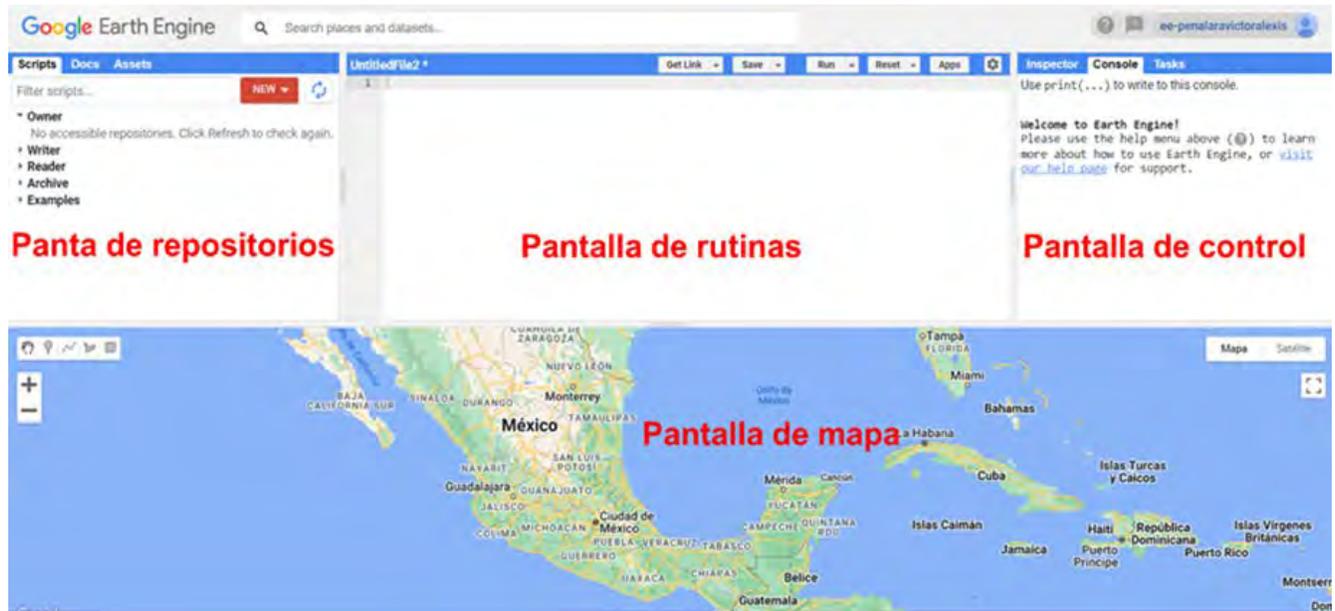


Figura 2. Vista inicial de la API (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

Pantalla de repositorios (Figura 3)

- *Scripts* (A): en este espacio se guardan y ordenan las rutinas o los códigos del usuario. En esta sección/apartado también se pueden crear repositorios y carpetas para ordenar y guardar los códigos.
- *Owner* (Propietario) (B): en esta sección se guardan los códigos creados por el usuario.
- *Writer* (Editor) (C): en esta sección se guardan los códigos compartidos por otros usuarios, pero que estamos autorizados para modificar.
- *Reader* (Lector) (D): en esta sección se guardan los códigos compartidos por otros usuarios, pero que no estamos autorizados a modificar.
- *Archive* (Archivo) (E): en esta sección se pueden guardar códigos que ya no se utilicen, pero que se desean conservar.

- *Examples* (Ejemplos) (F): en esta sección se pueden consultar ejemplos para hacer algunas tareas.

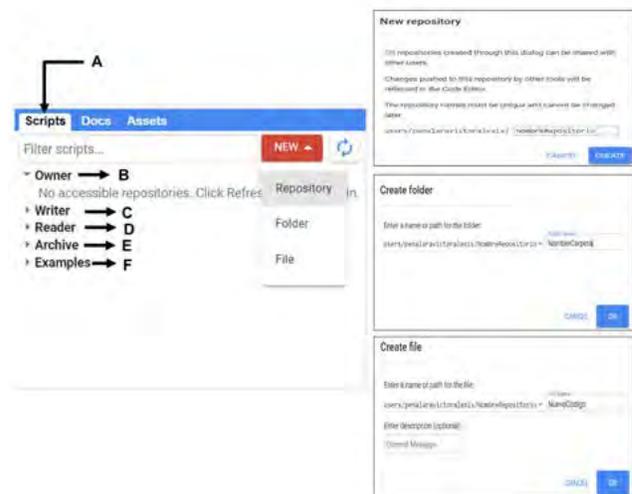


Figura 3. Panel de los códigos y las opciones disponibles dentro de la pestaña «Nuevo» (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).



- *Docs* (Documentación): en esta sección se encuentra la documentación de Google Earth Engine; en ella se pueden consultar los métodos y códigos que ya han sido preprogramados (**Figura 4**).

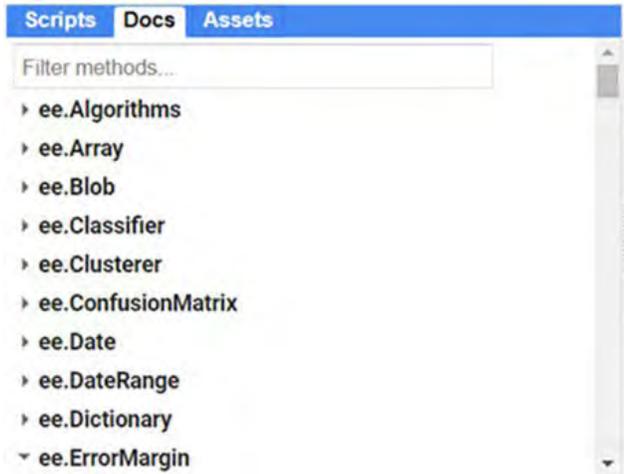


Figura 4. Panel de la documentación (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

- *Assets*: en esta sección se almacena toda la información que el usuario sube y guarda para ser utilizada en la plataforma de Google Earth Engine (**Figura 5**).

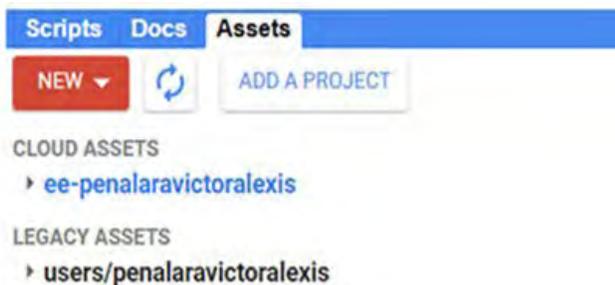


Figura 5. Vista de la carpeta en la que se almacenará la información (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

Pantalla de rutinas (Figura 6)

En esta sección se escribirán las rutinas o códigos por parte del usuario.

- *Get Link* (A): sirve para que el usuario pueda compartir el código o la rutina mediante una liga.
- *Save* (B): permite guardar el código o rutina.
- *Run* (C): sirve para correr de principio a fin el código o la rutina que tenga en la pantalla.
- *Reset* (D): sirve para borrar todo el código o rutina escrita en la pantalla.
- *Apps* (E): sirve para crear aplicaciones con el código o rutina que se encuentra en la pantalla.
-  Este botón (F) sirve para activar o desactivar líneas del código o rutina, así como para autocompletar símbolos.
- *Search* (G): Barra de búsqueda que permite localizar fuentes de datos para usar en el código o rutina, así como consultar los metadatos, bandas y demás características de un ráster.

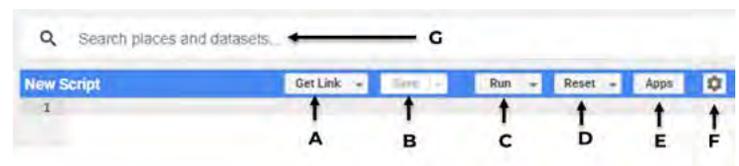


Figura 6. Vista del panel rutinas o códigos (*Scripts*) (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

Pantalla de mapa (Figura 7)

Esta sección permite dibujar puntos, polígonos, líneas o rectángulos en una capa o mapa. También, permite añadir un mapa base de Google Maps o Google Earth.

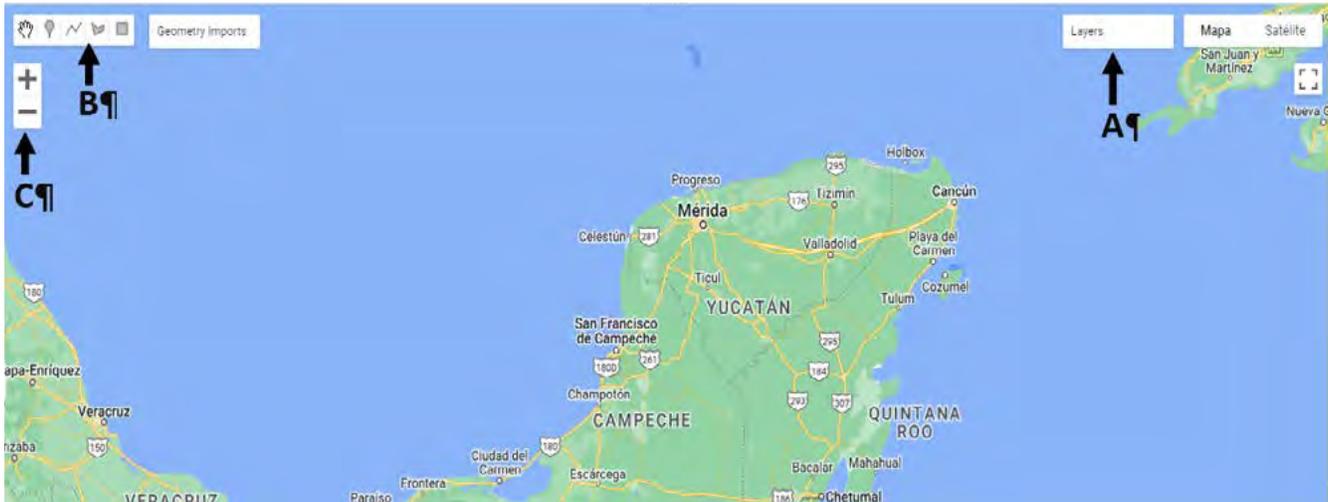


Figura 7. Vista de la pantalla de mapa (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

- Gestor de capas (A): permite activar o desactivar las capas que se están mostrando en la pantalla, así como modificar las características como la transparencia, el color o algún otro parámetro para mejorar su visualización.
- Herramientas (B): permite dibujar y visualizar puntos, polígonos, líneas o rectángulos.
- Zoom (C): permite alejarnos y acercarnos al mapa.

Pantalla de control (Figura 8)

- *Inspector*: permite conocer la ubicación y los valores de las capas al hacer clic en un punto de interés.
- *Console*: permite ver los errores al correr un código o tarea. También, se

puede mostrar la información de objetos o gráficos.

- *Tasks*: permite conocer las tareas que se están realizando, las tareas que se han exportado o importado, cuando se finalice una tarea el tiempo y que tomó para realizarla.

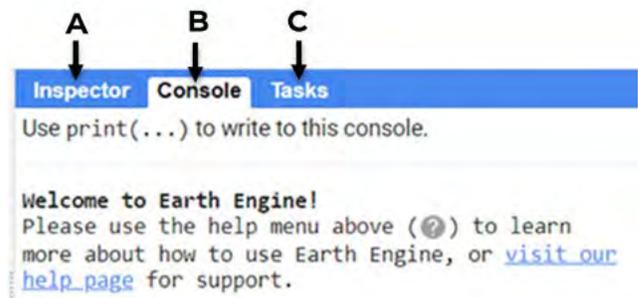
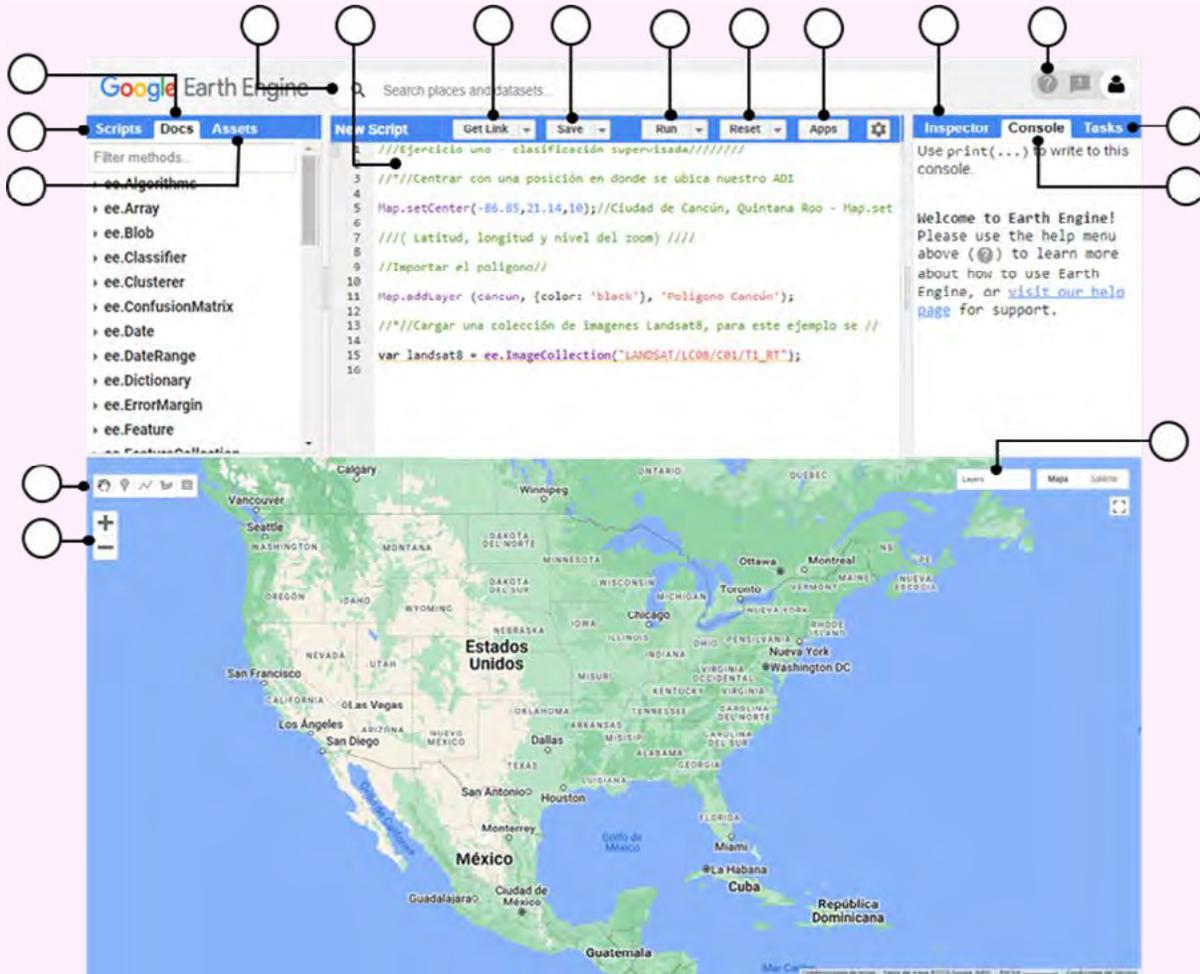


Figura 8. Vista de la pantalla de control (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).



Utilizando la siguiente imagen y los elementos enumerados en la tabla, poner el número que corresponda de cada indicación de la tabla en los círculos en blanco de la interfaz de Google Earth Engine.



- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 Espacio donde se guardan y ordenan las rutinas. 2 Área donde se va a escribir el código. 3 Borra todo el código. 4 Permite ver los errores al correr un código o tarea. 5 Se pueden consultar todos los métodos y algoritmos. 6 Ayuda a compartir el código. 7 Crea aplicaciones a partir del código. 8 Se consultan los valores de las capas en el mapa. | <ul style="list-style-type: none"> 9 Nos ayuda a subir y guardar información. 10 Corre de principio a fin el código. 11 Barra de búsqueda. 12 Permite guardar el código. 13 Nos permite alejarnos y acercarnos al mapa. 14 Se muestra las tareas exportadas. 15 Nos ayuda a resolver preguntas. 16 Dibujar y visualizar puntos, polígonos, líneas o rectángulos. 17 Permite prender y apagar las capas en el mapa. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|



Actividad 3. Conociendo la cobertura de manglar (clasificación supervisada)

Pregunta de investigación

¿Cuál es el porcentaje de cobertura del bosque de manglar en la zona de Río Lagartos?

Objetivo

Que las y los estudiantes utilicen la plataforma de Google Earth Engine para realizar una clasificación supervisada y determinar el porcentaje de cobertura de bosque de manglar en la zona de Río Lagartos.

Lista de materiales

- Computadora con acceso a internet

Desarrollo

Código para la clasificación supervisada en un bosque de manglar utilizando la plataforma Google Earth Engine

El siguiente código lo debes de copiar y pegar en la pantalla de rutinas de Google Earth Engine; cada paso se encuentra explicado.

PASO 1: delimitar el área que queremos estudiar. Para hacerlo, usaremos las herramientas de geometría disponibles en la pantalla del mapa. Puedes cambiar el mapa a vista satelital (**Figura 9**).

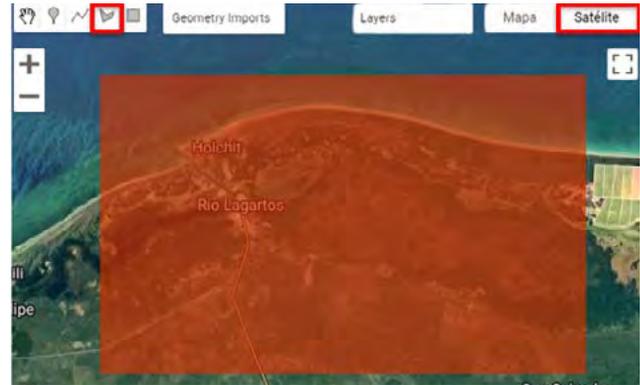


Figura 9. Delimitación del área (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

PASO 2: consultar y filtrar la colección de imágenes Sentinel 2. Para hacerlo, deberás de poner lo siguiente en la pantalla de rutinas.

```
var img = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")
    .filterBounds(area) // Se filtra a las imágenes que cubren el área de interés
    .filterDate('2022-01-01', '2022-12-31') // Se selecciona un periodo de tiempo que se quiere estudiar
    .sort('CLOUD_COVERAGE_ASSESSMENT') // Se ordenan de forma ascendente por % de cobertura de nubes
    .select(['B2', 'B3', 'B4', 'B8', 'B11', 'B8A'])
    .median()
    .clip(area);
print(img, 'Imagen S2 de área de estudio');
```

PASO 3: cargar al mapa una composición en falso color para resaltar las coberturas de vegetación. Para hacer esta composición se utilizarán las bandas 8, 3 y 2, como se muestra a continuación (**Figura 10**).

```
Map.addLayer(img, { bands: ['B8', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 5000 }, 'Composición en Falso Color');
```

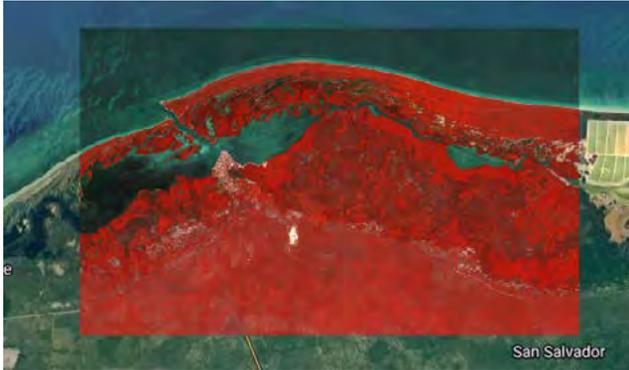


Figura 10. Imagen en falso color (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

PASO 4: crear los puntos de entrenamiento.

En la pantalla del mapa se generará una nueva capa dentro de «Geometry Imports». Utilizando la herramienta de geometría, agregaremos marcadores para cada punto de entrenamiento (**Figura 11 A**). Un punto de entrenamiento actúa como un identificador de características en la imagen, como, por ejemplo, la vegetación o los cuerpos de agua. Para modificar el nombre y la configuración de la nueva capa, accederemos a la sección de herramientas (**Figura 11 B**).

Es importante cambiar el nombre de la capa de acuerdo con el tipo de **cobertura de suelo** que se representará en la imagen. En este ejemplo, usaremos «agua» como nombre, evitando el uso de espacios o signos de puntuación. Luego, cambiaremos el tipo de importación a «Feature Collection» y agregaremos propiedades a la nueva capa. La propiedad se denominará «Clases», y el valor corresponderá al número de capa que se esté creando. Por ejemplo, en el caso de «agua» como primera capa, se le asignaría el número 1. También puedes personalizar el color.

A continuación, seleccionarás la capa y añadirás marcadores en los lugares donde se

encuentren los objetos que deseas diferenciar. El número de marcadores será a tu elección. Repetirás este proceso para cada una de las capas que necesites crear (**Figura 11**).



Figura 11. Puntos de entrenamiento generados en Google Earth Engine. A) Herramienta que nos ayuda a añadir marcadores en el mapa, y B) generación de capas, las cuales podemos modificar (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

PASO 5: unir los puntos de entrenamiento en una `ee.FeatureCollection`. En la pantalla de rutinas debes de unir los puntos de entrenamiento que creaste, en este caso fue: agua, manglar, asentamientos, otraveg y suelodesnudo.

```
var clases = agua
  .merge(manglar)
  .merge(asentamientos)
  .merge(otraveg)
  .merge(suelodesnudo);
print(clases, 'Clases');
// Map.addLayer(clases, {color:"blue"}, 'Clases');
```

PASO 6: dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y validación. En la pantalla de rutinas: la división de los datos en conjuntos de entrenamiento y validación se realiza mediante las operaciones de filtrado y el uso de la función `randomColumn`.



```
var datawithColumn = clases.randomColumn('random');
var split = 0.7; // establecemos el umbral para dividir los datos.
var trainingData = datawithColumn.filter(ee.Filter.lt('random', split));
var validationData = datawithColumn.filter(ee.Filter.gte('random', split));
print(trainingData, 'trainingData');
Map.addLayer(trainingData, {}, 'trainingData');
print(validationData, 'validationData');
```



Figura 12. Creación de puntos de entrenamiento y validación (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

PASO 7: extraer los valores de las bandas en la posición de cada punto. En la pantalla de «Rutinas» puedes extraer los valores de las bandas utilizando la función `img.sampleRegions` y la colección de puntos de entrenamiento.

```
var training = img.sampleRegions({
  collection: trainingData,
  properties: ['clases'],
  scale: 2,
  geometries: true
});
// training = ee.FeatureCollection(training);
print(training, 'Training con valores de bandas');
Map.addLayer(training, {}, 'Training con valores de bandas');
```

PASO 8: hacer la clasificación en la pantalla de «Rutinas»; realiza utilizando el **algoritmo** de clasificación `ee.Classifier.smileCart().train`.

```
var trained = ee.Classifier.smileCart().train(training,
'clases', img.bandNames());
var classified = img.classify(trained);
print(classified);
```

PASO 9: visualizar la imagen clasificada. En la pantalla del mapa puedes visualizar la imagen clasificada utilizando la función `Map.addLayer`.

```
Map.addLayer(classified, {
  min: 1,
  max: 5,
  palette: ['#007A99', '#005000', '#FFFCFC', '#666600', '#F3E3B2']
}, 'CLASIFICACIÓN SUPERVISADA');
```

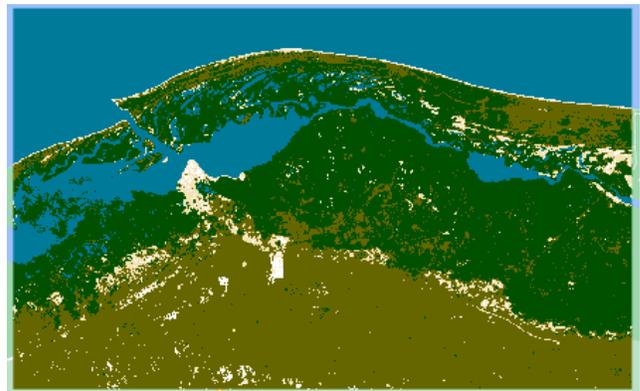


Figura 13. Área de estudio clasificada con los puntos de entrenamiento que se crearon generados en Google Earth Engine (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

PASO 10: precisión con los puntos de validación se obtienen de la clasificación utilizando la función `classified.sampleRegions`.

```
var validation = classified.sampleRegions({ collection:
validationData, properties: ['clases'], scale: 30 });
```



PASO 11: obtención de matriz de confusión basada en datos de validación utilizando la función `validation.errorMatrix` (**Figura 14**).

```
var testAccuracy = validation.errorMatrix('clases',
'classification');
print('Validation Confusion Matrix:', testAccuracy);
```

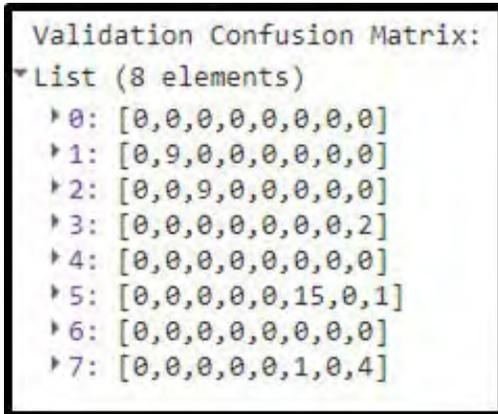


Figura 14. Representación visual de la matriz de confusión obtenida a través de datos de validación generada en Google Earth Engine.

PASO 12: evaluar la precisión general de la clasificación basada en datos de validación (**Figura 15**), utilizando la función `testAccuracy.accuracy`.

```
print('Precisión general de la validación:', testAccuracy.accuracy());
```

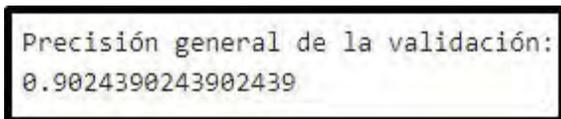


Figura 15. Análisis de la precisión general de la clasificación utilizando datos de validación generada en Google Earth Engine.

PASO 13: valor kappa de clasificación basado en datos de validación (**Figura 16**), se obtiene utilizando la función `testAccuracy.kappa`.

```
print('Validación-Kappa:', testAccuracy.kappa());
```

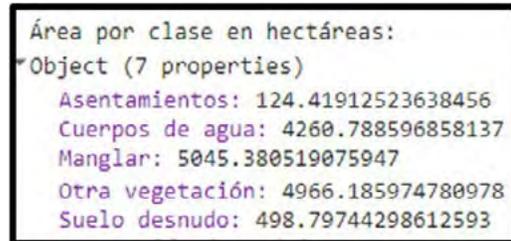


Figura 16. Medición del valor Kappa de clasificación usando datos de validación generada en Google Earth Engine.

PASO 14: Renombrar las clases. En la pantalla de «Rutinas», se renombran las clases utilizando la función `classified.eq().rename`.

```
var nombre = ['Cuerpos de agua', 'Manglar', 'Asentamientos', 'Otra vegetación', 'Suelo desnudo'];
var renombre = classified.eq([1, 2, 3, 4, 5]).rename(nombre);
print(renombre, 'clases');
```

PASO 15: calcular el área de las clases en hectáreas. En la pantalla de «Rutinas», se calcula el área utilizando la función `reduceRegion` (**Figura 17**).

```
var area1 = renombre.multiply(ee.Image.pixelArea()).divide(10000);

var areaporclase = area1.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  scale: 10,
  geometry: area,
  maxPixels: 1e12
});

var areatotal = ee.Number(areaporclase);
print('Área por clase en hectáreas:', areatotal);
```



```

Área por clase en hectáreas:
Object (7 properties)
  Asentamientos: 124.41912523638456
  Cuerpos de agua: 4260.788596858137
  Manglar: 5045.380519075947
  Otra vegetación: 4966.185974780978
  Suelo desnudo: 498.79744298612593
    
```

Figura 17. Estimación del área en hectáreas para cada clase (imagen generada en Google Earth Engine en 2023).

PASO 16: realizar un gráfico de pastel (**Figura 18**) utilizando la función `Chart.array.values`.

```

var a = ee.Array(areaporclase.get('Cuerpos de agua'));
var b = ee.Array(areaporclase.get('Manglar'));
var c = ee.Array(areaporclase.get('Asentamientos'));
var d = ee.Array(areaporclase.get('Otra vegetación'));
var e = ee.Array(areaporclase.get('Suelo desnudo'));
var array = ee.List([a, b, c, d, e]);
var Nombres = ee.List(nombre);
var colores = ee.List(['#007A99', '#005000', '#FFF-CFC', '#666600', '#F3E3B2']);
var grafico = Chart.array.values(array, 0, Nombres).setChartType('PieChart').setOptions({ is3D: true, colors: ['#007A99', '#005000', '#FFF-CFC', '#666600', '#F3E3B2'] });
    
```

Imprimir el gráfico

```
print('Cobertura relativa (%) de las clases:', grafico);
```

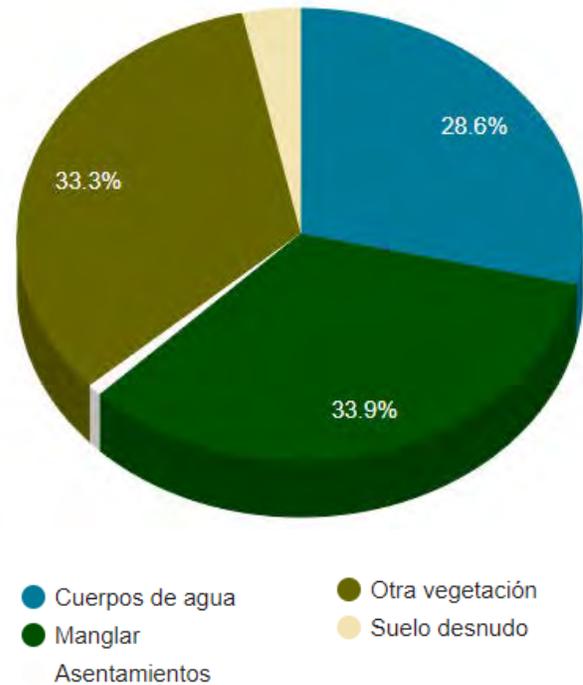


Figura 18. Porcentaje de cobertura por clase en la clasificación supervisada: representación gráfica de la distribución de áreas para cada categoría.

CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

Es crucial aprovechar las nuevas tecnologías para conocer el estado de nuestros bosques y tomar acciones de restauración donde falte vegetación. Todos y todas podemos jugar un papel importante al

generar información y concientizar sobre la importancia de nuestros bosques y su conservación. Juntos y juntas podemos marcar la diferencia en la protección de nuestros recursos naturales.



SOBRE LOS AUTORES Y AUTORAS

Karina González Muñoz es ingeniera forestal por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Actualmente es estudiante de maestría en el Centro de Investigación Científica de Yucatán. Su formación se enfoca en el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota para el estudio de la vegetación de los manglares. Ha participado en congresos nacionales y uno internacional en la temática de manglares y sistemas de información geográfica.

Víctor Alexis Peña Lara es biólogo por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. En el año 2022 obtuvo el grado de maestro en Ciencias por el Centro de Investigación Científica de Yucatán. Actualmente, se encuentra realizando su doctorado en el mismo centro de investigación. Su proyecto de doctorado se enfoca en la modelación espacial de las diversidades taxonómica, funcional y filogenética de plantas en la península de Yucatán utilizando sensores remotos.

Luis Ángel Hernández es biólogo y maestro en Ciencias por la Universidad Juárez del Estado de Durango. En su trayectoria ha participado en diversos proyectos de investigación y en la publicación de folletos técnicos, artículos científicos y capítulos de libro. Actualmente es estudiante de doctorado en el Centro de Investigación Científica de Yucatán, donde desarrolla un proyecto enfocado a la modelación espacial de la diversidad de plantas y su relación con los servicios ecosistémicos.

Fernando Jesús Tun Dzul es biólogo y maestro en Ciencias, con formación en ecología vegetal, tipos de vegetación y análisis del paisaje. Se encuentra adscrito al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota de la Unidad de Recursos Naturales del Centro de Investigación Científica de Yucatán. Sus temas de investigación son la ecología y monitoreo de comunidades vegetales, los sistemas de información geográfica y la ecología del paisaje, principalmente en análisis y descripción de la vegetación de la península de Yucatán.

José Luis Hernández-Stefanoni es ingeniero forestal por la Universidad Autónoma Chapingo, maestro en Ciencias en Cómputo Aplicado por el Colegio de Postgraduados y doctor por Trent University en Peterborough, Ontario, Canadá. Es Investigador Titular C del Centro de Investigación Científica de Yucatán, Nivel II en el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores, y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Sus líneas de investigación se enfocan en el monitoreo de bosques tropicales por medio de la percepción remota y estadísticas espaciales, además de la ecología del paisaje.



GLOSARIO

Algoritmo: es una serie de pasos o instrucciones lógicas que se siguen para resolver un problema o realizar una tarea. En el contexto informático, un algoritmo es una secuencia de operaciones que se programa en un ordenador para realizar una tarea específica.

Análisis espacial: es el proceso de examinar y comprender cómo se distribuyen y relacionan los diferentes elementos o características en un espacio geográfico. Se utiliza para estudiar patrones, tendencias y relaciones entre objetos o fenómenos en un área determinada.

Área de estudio: es la región geográfica o espacio específico que se selecciona para llevar a cabo una investigación o análisis. Puede ser tan pequeña como un sitio específico o tan grande como una región completa, dependiendo del objetivo del estudio.

Clasificación supervisada: es un método utilizado en el análisis de imágenes o datos espaciales para asignar categorías o clases predefinidas a diferentes áreas o elementos. Se basa en la utilización de muestras o ejemplos conocidos para entrenar un algoritmo y luego aplicarlo para clasificar automáticamente nuevas áreas o elementos similares.

Cobertura de suelo: es la descripción de los diferentes tipos de superficies o elementos que cubren un área determinada de la Tierra. Puede incluir categorías como bosques, campos agrícolas, áreas urbanas, cuerpos de agua, entre otros.

Google Earth Engine: es una plataforma en línea desarrollada por Google que permite a los usuarios acceder y analizar una enorme cantidad de datos geoespaciales provenientes de satélites y otras fuentes. Es una herramienta poderosa para estudiar y comprender los cambios en la superficie de la Tierra a lo largo del tiempo, así como para realizar análisis espaciales y detectar patrones.

Imagen de satélite: es una fotografía o representación visual de la superficie de la Tierra capturada desde un satélite en órbita alrededor del planeta. Estas imágenes se obtienen utilizando cámaras especiales o sensores que registran diferentes longitudes de onda de la luz reflejada por la Tierra.

Manglares: son ecosistemas costeros que se encuentran en zonas tropicales y subtropicales. Están compuestos por árboles y arbustos adaptados a vivir en aguas salobres o saladas.

Percepción remota: es una técnica que consiste en obtener información sobre la superficie de la Tierra sin tener contacto físico directo. Se utiliza mediante la captura de imágenes o datos desde satélites, aviones u otras plataformas, para analizar características y cambios en la superficie terrestre.

Servicios ecosistémicos: son los beneficios que los ecosistemas proporcionan a los seres humanos y a otros organismos. Estos servicios incluyen la provisión de alimentos, agua limpia, regulación del clima, control de la erosión del suelo, recreación y muchos otros beneficios vitales para nuestra calidad de vida.



REFERENCIAS

Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48(55), 55–66. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Herrera Silveira, J. A., Camacho Rico, A., Pech, E., Pech, M., Ramírez Ramírez, J., & Teutli Hernández, C. (2016). Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México. *Terra Latinoamericana*, 34, 61–72. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n1/2395-8030-tl-34-01-00061.pdf>

López-Portillo, J., & Ezcurra, E. (2002). Los manglares de México: una revisión. *Madera y Bosques*, 8(Es1), 27–51. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61709802.pdf>

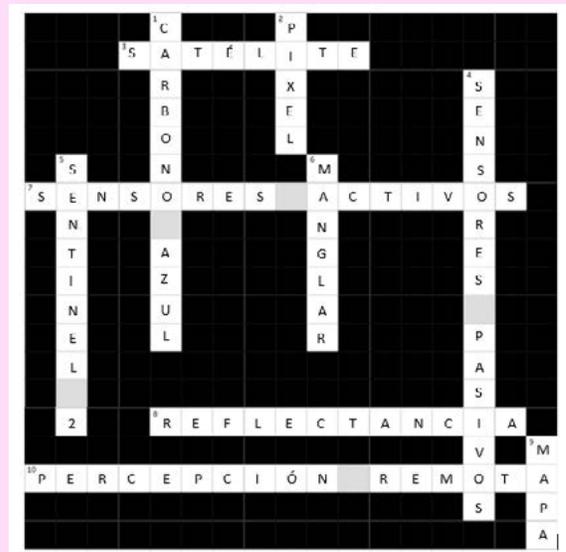
Perilla, G. A., & Mas, J. F. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/ig.59929>

Velázquez-Salazar, S. (2021). *Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020*. CONABIO.



Respuestas de las actividades

Crucigrama



Colocar los números en la imagen

