

La Percepción Remota y la Clasificación de Imágenes con Landsat y Sentinel-1 en GEE

A. Martín Ramírez Rabelo

Febrero 2021

Resumen

Se introducen los conceptos clave de la percepción remota. Para este propósito se presentan algunas funciones de la plataforma *Google Earth Engine* (GEE) donde se muestran ciertos algoritmos para la clasificación de imágenes satelitales; los conceptos clave para entender la clasificación de cobertura terrestre usando imágenes ópticas y de radar. Con estas herramientas se realiza una clasificación de cobertura en la plataforma GEE usando datos de los satélites Landsat y Sentinel-1.

1. Introducción

La exploración del planeta Tierra ha sido una de las principales inquietudes de la humanidad desde sus inicios; la necesidad de saber qué se encuentra más allá de sus dominios. Al principio se exploró el medio ambiente únicamente con los sentidos. Ha empleado una serie de elementos que lo identifican no nada más como una criatura llena de interés por entender su entorno, sino también como seres deseosos de dominarlo. Así, la curiosidad y el afán por conocer el territorio donde se habita, han conducido a realizar exploraciones que van desde trepar la copa de un árbol, hasta subir a una colina o una montaña para tener una visión sinóptica del paisaje.

Aún en estas actividades básicas de exploración humana pueden distinguirse los elementos fundamentales que hoy componen la moderna ciencia de la percepción remota.

2. Percepción remota

Como el nombre lo indica, el percibir algo de manera remota puede conceptualizarse como la ciencia y arte de obtener información a distancia acerca de algo. Es a su vez un análisis de los datos colectados que brinda una perspectiva

más amplia acerca de objetos, áreas o fenómenos bajo investigación.

Al no ser suficientes los sentidos humanos para la exploración del entorno, estos se han visto en la necesidad de crear artefactos que extiendan su capacidad de percepción. La creación de sensores que captan la luz en todo su espectro, por ejemplo, extienden de forma notable la visión humana; las fotografías son una extensión de la memoria así como el desarrollo de la navegación aerea y espacial son una extensión de la capacidad de movilidad en el espacio. Todos estos componentes, desde su invención, forman parte de lo que ahora es el campo de estudio de la percepción remota. Aviones y satélites que toman fotografías desde los cielos; fotografías que perciben luz mucho más allá del espectro visible para la detección de objetos que son invisibles al ojo humano.

De manera cronológica, estos desarrollos tecnológicos y científicos que abrieron paso a las herramientas mencionadas se pueden enumerar como sigue:

1. 1800: William Herschel descubre Infrarrojo.
2. 1839: Louis Daguerre: Inicio de práctica fotográfica.

3. 847: A. Fizeau & J. Foucault: espectro infrarrojo y características compartidas con luz visible.
4. 1850 – 1860: Inicio de práctica de fotografía con aerostáticos.
5. 1873: James Maxwell: Desarrolla teoría de energía electromagnética.
6. 1910: Wilbur Wright: primeras fotos aéreas (desde avión) en Italia.
7. 1910-1920: 1a guerra mundial: amplio uso de reconocimiento aéreo con equipamiento especialmente diseñado.
8. 1940 – 1950: 2a guerra mundial: Espectro Electromagnético (EM) extendido desde visible hasta regiones infrarrojo y microondas, desarrollo de expertise en fotografía aérea.
9. 1956: Robert Colwell: usa cámaras infrarrojas para identificar cereales y sus enfermedades.
10. 1960: TIROS-1 meteorológico, lanzado en abril. Algunos instrumentos clasificados por militares liberados para uso civil.
11. 1972: lanzamiento de Landsat 1.

- Primer satélite orbitante diseñado para observación sistemática de áreas terrestres.
- Contribuciones: Expansión de interés científico en análisis multiespectral; aceleramiento del análisis en computadora.

Hasta la década sesenta, la superficie terrestre era estudiada regionalmente mediante las fotografías aéreas registradas por medio de cámaras fotográficas aerotransportadas, con información del espectro visible. Durante las últimas décadas se produce un importante avance de la teledetección con el desarrollo de sensores como los sistemas de barrido multiespectral y los sistemas activos de microondas, que permiten registrar información en otras regiones del espectro

electromagnético, y en formato digital. El lanzamiento del primer satélite de recursos naturales en 1972 permitió iniciar el estudio de la superficie de la Tierra desde una perspectiva multiespectral.

2.1. Componentes del Sistema y la Radiación Electromagnética

La teledetección se compone principalmente por una fuente luminosa (o menos común: acústica) que es irradiada hacia objetos que absorben y reflejan esta luz que les impacta. Este proceso de absorción y reflección es única en cada objeto expuesto, lo cual da como resultado lo que se conoce como una *firma espectral*. Esta firma espectral es captada por los sensores de un objeto aerotransportado como un avión o un satélite que, a su vez, envía los datos capturados hacia la antena de un laboratorio donde son descargados dichos datos para su procesamiento y finalmente su conversión en información útil para el usuario.

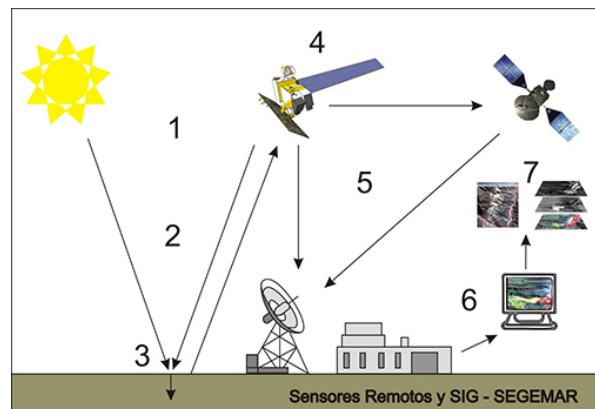


Figura 1: 1: Fuente de energía, pasiva o activa. 2: Trayectoria y su interacción con la atmósfera 3: Incidencia en la superficie terrestre 4: Satélite 5: Ciclo de toma y descarga de datos 6: Estación terrena de preproceso 7: Información al usuario.

Existe una gran diversidad de sensores y tecnologías para capturar datos de imágenes en diferentes bandas y canales multiespectrales que sirven para diferentes aplicaciones y que cuentan con características específicas como una cierta resolución o alcance. El uso de una herramienta respecto a otra depende de los recursos que se tengan disponibles y de una consideración de contras y pros que cada una represente.

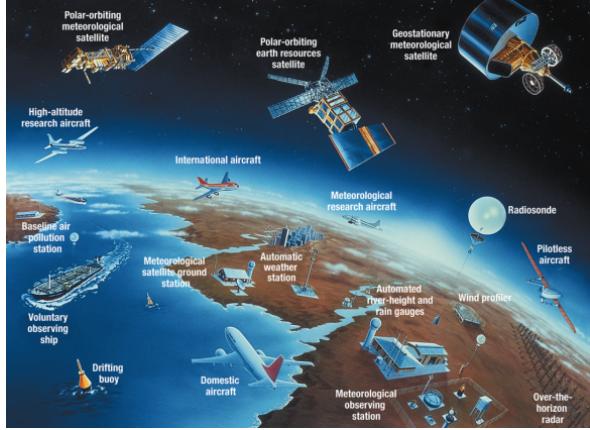


Figura 2: En la actualidad existe una variedad de medios tecnológicos para la captura de imágenes que nos dan una acercamiento más profundo y detallado de la cobertura espacial terrestre.

Con un sensor pasivo¹ (que no emite su propia señal de luz o de sonido y sólo recibe la señal de una fuente externa), la fuente principal de luz es el sol. Por otro lado, un sensor activo² (es su propia fuente) emite una señal en una frecuencia y longitud de onda específica para los propósitos que requieran sus mediciones.

Vista como ondas electromagnéticas, la luz, se caracteriza de acuerdo a su frecuencia³, o equivalentemente, su longitud de onda⁴ y a una amplitud⁵ particular. El espectro electromagnético se extiende conforme los alcances de valores que puedan tomar estas frecuencias que tiene que ver con la energía⁶ que dicha onda lleva consigo. El espectro visible es una muy pequeña proporción de la extensión completa del espectro electromagnético como se muestra en la siguiente imagen:

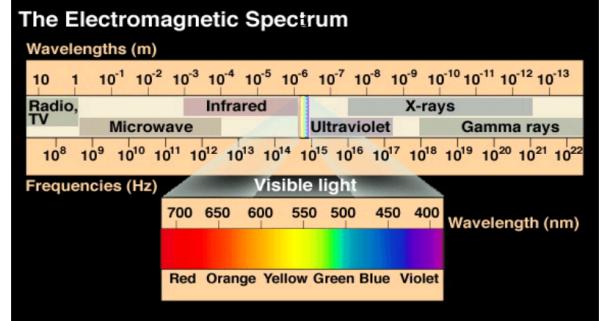


Figura 3: Se muestra el total del espectro electromagnético donde se puede apreciar la pequeña franja que compone la parte visible para el ojo humano. Cada parte del espectro está caracterizada por una frecuencia y longitud de onda determinada.

Cada objeto, como se ha mencionado, absorbe y refleja en distintas frecuencias, lo cual forma parte de su firma espectral y por eso es necesario tener sensores que capten en distintas bandas espectrales e identificar así objetos que no se pueden observar en el espectro visible que va desde el Azul (.4-.5 micrómetros), pasando por el Verde (.5-.6 micrómetros) y extendiéndose hasta el Rojo (.6-.73 micrómetros). Otros tipos de radiaciones relevantes en la PR son:

La **radiación infrarroja** (IR) es un tipo de radiación electromagnética, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Su rango se clasifica en:

- Infrarrojo cercano (de 800 nm a 2500 nm)
- Infrarrojo medio (de 2.5 μm a 50 μm)
- Infrarrojo lejano (de 50 μm a 1000 μm)

La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin (cero absoluto). La cercana infrarroja reflejada, puede grabarse en cinta fotográfica; la denominada mediana infrarroja reflejada, puede

¹Ejemplos de radiómetros pasivos: LandSat, SPOT

²Ejemplo: Radar. Tiene algunas ventajas como la habilidad para registrar datos independiente del tiempo y día de la temporada además de un mejor control de iluminación del objetivo.

³Frecuencia - número de crestas pasando un punto determinado en un periodo de tiempo. Medido en hertz (1 ciclo por segundo)

⁴Longitud de onda - distancia de una cresta de la onda a otra.

⁵Amplitud -Altura de cada pico. Medida como radianza espectral

⁶La frecuencia es directamente proporcional a la energía que transporta una radiación, según la ecuación: $E = h \cdot f$, (donde h es la constante de Planck = $6,63 \cdot 10^{-34}$ J/s). Las diferentes radiaciones electromagnéticas tienen diferentes energías e interactúan con la materia de forma distinta según esta energía.

detectarse con sensores electro-ópticos al igual que la térmica infrarroja emitida.

La **radiación de microondas** es captada por sensores de tipo radar, y tiene longitudes de onda que van de 1mm - 1m.

La **radiación ultravioleta** o radiación UV tiene una longitud de onda comprendida aproximadamente entre los 10 nm y los 400 nm. No se realiza mucho con UV en percepción remota porque esas ondas cortas son fácilmente dispersadas (scattered) por la atmósfera.

2.2. Interacción luz-atmósfera

La radiación registrada por sensores remotos debe realizar una trayectoria a través de la atmósfera, a consecuencia de la cual sufre variados efectos los cuales dependen del trayecto recorrido, de las condiciones atmosféricas presentes y de la longitud de onda de la radiación. En general, los mecanismos principales que intervienen son: Dispersión, refracción, reflexión y absorción.

La **dispersión** es una difusión de la radiación producida por partículas de la atmósfera y podemos considerar tres mecanismos principales: *dispersión de Rayleigh*, *dispersión de Mie* y *dispersión no selectiva*.

La dispersión de Rayleigh es consecuencia de la interacción de la radiación con moléculas de los gases atmosféricos y con otras partículas pequeñas de diámetro mucho menor que la longitud de onda de la radiación con la que interaccionan. Este efecto es inversamente proporcional a la 4ta potencia de la longitud de onda. En consecuencia existirá mayor tendencia a dispersar las longitudes de onda más cortas. El “azul del cielo” se debe a este efecto; en ausencia de él, el cielo aparecería negro, pero como la atmósfera dispersa sobre todo las cortas longitudes de onda (como el azul en el rango de espectro visible) el cielo nos aparece azul. La dispersión de Rayleigh es una de las causas primarias de nebulosidad en muchas imágenes que ven así reducida su nitidez o contraste.

La dispersión de Mie se produce cuando los diámetros de las partículas atmosféricas son esencialmente iguales a la longitud de onda de la radiación (vapor de agua, polvo fino, etc.) y tiende a influenciar la radiación de longitudes de

onda mayores que las afectadas por la dispersión de Rayleigh.

La dispersión no selectiva, por otro lado, se produce cuando los diámetros de las partículas que producen la dispersión son mucho mayores que las longitudes de onda con que interactúan. Un ejemplo típico lo constituyen pequeñas gotas de agua con diámetros comprendidos entre 5 y 100 mm que dispersan en igual forma todas las radiaciones en las regiones visible e IR cercano y medio. Al ser su dispersión no selectiva respecto a la longitud de onda ocurrirá que en el espectro visible se dispersan en igual proporción las radiaciones azules, verde y rojas, con la consecuencia de que las nubes y la niebla aparecen blancas.

Efectos de dispersión

- Permite ver en sombras (skylight).
- Obliga a registrar en imágenes brillo de la atmósfera en adición al del objetivo (superficie terrestre generalmente).
- Direcciona luz reflejada fuera del campo de visión del sensor y decrementa detalle espacial (imágenes fuzzy).
- Tiende a hacer objetos oscuros más claros y objetos claros más oscuros (reduce contraste).

La **refracción** es el fenómeno de modificación de dirección de la luz cuando pasa a través de dos medios. Esto provoca que se degraden firmas espectrales en días húmedos y calurosos.

En la **reflexión**, se tiene un retorno de energía electromagnética al “chocar” con una superficie. El tipo de reflexión depende del tamaño y de irregularidades de la superficie en relación con longitud de onda incidente.

Reflexión especular

En superficies perfectamente lisas



Reflexión difusa

En superficies rugosas



Figura 4: Existen diferentes tipos de reflexión de la luz incidente sobre los objetos que depende de las características particulares del objeto en cuestión.

La absorción, por su cuenta, produce una transferencia de energía de la radiación a los constituyentes atmosféricos. Este mecanismo implica absorción de energía de determinada o determinadas longitudes de onda. Desde este punto de vista los absorbentes más eficaces de radiación solar son las moléculas de agua, de dióxido de carbono y ozono.

VENTANAS ATMOSFÉRICAS

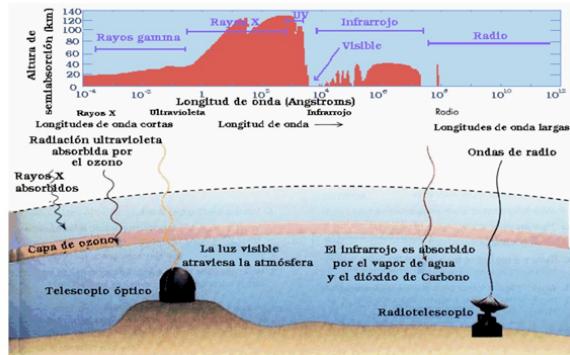


Figura 6: Se muestran las ventanas de absorción de luz de la atmósfera; no todo el tipo de luz pasa a través de la atmósfera, alguna es absorbida, otro tanto es dispersada y la visible que logra atravesar es distorsionada. Notamos que sólo cierto rango de ondas de radio pasan sin problema a través de la atmósfera.

Conceptos clave

- Diferenciación espectral: Diferencias observadas en energía reflejada o emitida desde la superficie.
- Diferenciación radiométrica: habilidad para detectar diferencias en brillo (indicador de niveles de reflexión) de objetos o rasgos.
- Diferenciación espacial: Tamaño del área mínima que puede ser registrada en forma separada en una imagen (por banda).
- Transformación Geométrica: Los errores geométricos son características inherentes de imágenes de PR. Hay errores posicionales causados por perspectiva del sensor, óptica, movimiento de sensor de escaneo, relieve del terreno, curvatura de la tierra, etc. Es posible removerlos o reducirlos, pero siempre deben ser tomarlos en cuenta para mediciones de área o longitudes basados en PR.
- Irradiancia: Es la potencia incidente de radiación por unidad de área, sin importar de dónde proviene (desde todas las direcciones); unidades = $\mu W \cdot m^{-2}$ (vatio por metro cuadrado).

Fig. 15

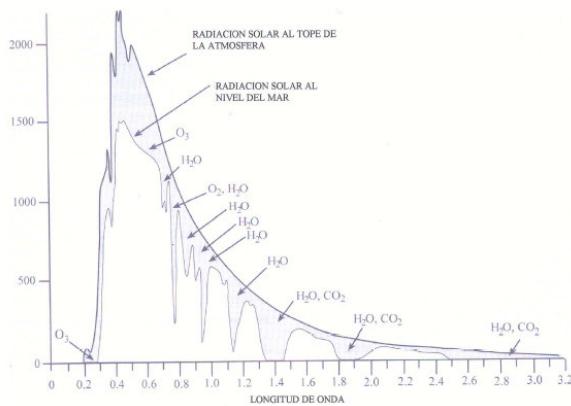
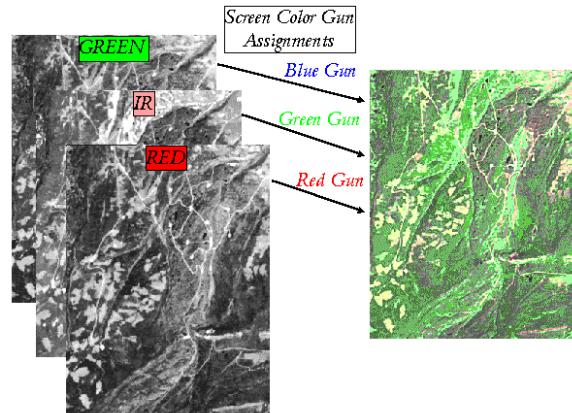


Figura 5: Niveles de absorción de radiación por cada tipo de molécula atmosférica según la longitud de onda.

La absorción selectiva de ciertas longitudes de onda por estas moléculas hace que la atmósfera constituya un medio opaco para ciertos rangos espectrales, mientras que ofrece ventanas libres de absorción para otros rangos.

- Radiancia: Potencia. Flujo radiante emitido por unidad de superficie y por ángulo sólido($\mu W \cdot cm^{-2} \cdot sr$), donde sr = estereoradián. Si se mide la radiancia de un cuerpo para todo el espectro de frecuencias, se obtiene la *radianciapectral* del cuerpo. Es la energía que cruza una unidad de área a una profundidad dada, en una dirección particular e intervalo de longitud de onda. Se mide con un sensor de campo de visión angosto (narrow field-of-view detector).



- Firmapectral: Los objetos absorben, emiten, transmiten y reflejan diferentes longitudes de onda de radiación. En principio cada objeto refleja/emite una firma espectral única, que podría ser utilizada para identificación como huella digital. Son utilizadas para reconocer y mapear diferentes características, sin embargo, algunas no son constantes en el tiempo, y sufren de variaciones de acuerdo a las distintas etapas que el objeto atraviesa.

2.3. Naturaleza de la imagen

Una imagen modela características de la superficie a través de reflectancia espectral. Los SW y HW están especialmente diseñados para analizar estas imágenes y definir los tipos de superficies. A su vez, las imágenes en la pantalla de una computadora están hechas de elementos pictoriales llamados pixeles⁷. Las propiedades espaciales de un pixel definen ancho y largo en el terreno. Mientras que las espetrales definen la intensidad de respuesta espectral para una celda en un banda particular.

Cuando solo una banda del espectro EM es visualizada los pixeles aparecen en niveles de gris. Sin embargo, los sensores multiespectrales detectan reflectancia en mas de una banda del espectro electromagnético, las cuales, representan datos diferentes.

Figura 7: Cuando se combinan las bandas en las salidas roja, verde y azul, de un monitor a color, se forman diferentes composiciones de color.

2.4. Tipos de sensores

Existen cerca de 3000 satélites orbitando la tierra, una 3a parte son de EU y son, en general, satélites multi-propósito:

- Científico
- Defensa
- Comunicaciones
- Posicionamiento (GPS)

Satélites geoestacionarios permanecen “estacionarios” respecto a un punto en superficie terrestre i.e. Satélites de comunicaciones y meteorológicos

De órbita polar: Posición del plano orbital del satélite es constante respecto al sol i.e. Landsat satellite series

Sensores Radar

El radar⁸, que por poseer su propia fuente de emisión se denominan sensores activos, posee tres funciones primarias:

1. Emite señales de microondas (en sus principios fueron de radio, de ahí su nombre) hacia una escena.

⁷Pixel – elemento pictorial con propiedades espaciales y espetrales

⁸La palabra radar es un acrónimo de Radio Detection And Range, que más explícitamente podríamos traducirlo como “detección y medida de distancias por ondas de radio”.

2. Recibe la fracción de energía reflejada por la escena en su misma dirección.
3. Observa la intensidad (detección) y el retraso de tiempo (distancia) de las señales o eco de retorno.

Como el radar posee su propia fuente de emisión de radiaciones puede operar de día o de noche, y como además las microondas pueden penetrar la atmósfera bajo virtualmente cualquier condición climática el radar se convierte en un sensor que, a diferencia de los que hemos estudiado antes puede operar en todo tiempo. Como contrapartida, las imágenes de radar son de interpretación más difícil que las correspondientes obtenidas para las regiones visibles o térmicas del espectro electromagnético. En efecto, estas últimas pueden correlacionarse más fácilmente con las apreciaciones realizadas por el ojo humano, mientras que las respuestas de las microondas son marcadamente diferentes.

Los sensores de microondas operan en la porción de microondas del espectro EM. Algunas ventajas son: Capacidad de penetrar atmósfera en diversas situaciones y vistas diferente del medio ambiente. Como desventajas: Presentan problemas para identificar cuerpos de agua debido a que longitud de onda es mucho mayor que carácter general de rugosidad superficial.

Aplicaciones: Hielo marino y nieve, características geológicas, contornos de la superficie del océano, lluvia y meteorología

Radiómetro de microondas: Antena que radia en un cono con un radio de pocos grados (narrow-beam antenna) anexa a un escáner. Útil para humedad en el suelo, contenido de nieve, estratos geológicos.

Radar de apertura sintética (SAR): antena más pequeña que emite y recibe energía retornada desde objetos en la tierra: Aplicaciones: día/noche, con o sin nubes, modelos de elevación.

RADARSAT: Puesto en órbita 1995 por Canadá. Monitorea el cambio medio ambiental y de recursos planetarios naturales; es de tipo SAR.

LIDAR(Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging): Permite

determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. La distancia al objeto se determina midiendo el tiempo de retraso entre la emisión del pulso y su detección a través de la señal reflejada. En general, la tecnología lidar tiene aplicaciones en geología, sismología y física de la atmósfera además de su uso en vehículos autónomos. Es un sistema que permite obtener una nube de puntos del terreno tomándolos mediante un escáner láser aerotransportado.

Sensores Ópticos

Los sensores ópticos operan en la porción óptica del espectro (aprox. 0.3 a 14 mm). Observan diferencias en el tiempo en colores. Entre sus aplicaciones más comunes se encuentran: meteorológicas, monitoreo oceánico (i.e. absorción de clorofila).

Algunos sensores ópticos son:

GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite (Visible al NIR, Térmico).

DMSP - Defense Meterological Satellite Program 600 m resolución (Visible a NIR, Térmico), Estudios de isla de calor urbana.

Nimbus - CZCS - coastal zone color scanner, 825 m resolución espacial.

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer – meteorológico (visible, NIR, Térmico).

3. Cobertura terrestre en GEE

Google Earth Engine combina un catálogo con petabytes de imágenes de satélite y conjuntos de datos geoespaciales con capacidades de análisis a escala planetaria. Earth Engine aloja imágenes históricas terrestres desde hace más de cuarenta años. Las imágenes, recopiladas diariamente, se ponen a disposición del público para realizar minería de datos a escala global. También proporciona una API y otras herramientas para permitir el análisis de grandes conjuntos de datos.

Ventajas

- Earth Engine nos permite cargar nuestros propios datos ráster y vectoriales (por ejemplo, archivos GeoTIFF o Shapefile) para realizar los análisis.
- Nos da acceso a un catálogo de datos, que incluye todo el catálogo Landsat de EROS (Earth Resources Observation and Science) (USGS / NASA), numerosos conjuntos de datos MODIS, datos Sentinel-1, datos NAIP (National Agriculture Imagery Program), datos de precipitación, datos de temperatura de la superficie del mar, datos climáticos de CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) y datos de elevación.
- Podemos mostrar los resultados de nuestros análisis en Google Maps o en cualquier otra plataforma de mapas, como ArcGIS o QGIS.
- Es gratuito para investigación, educación y para usos sin ánimo de lucro. Para aplicaciones comerciales, Google ofrece licencias comerciales de pagos.

Algoritmos

Podemos dividir los diferentes algoritmos en categorías:

- Machine Learning: realizar clasificación supervisada y no supervisada, modelos de TensorFlow, etc
- Imágenes: Resumen de imagen, visualización, información y metadatos, operaciones matemáticas, cálculo de gradientes, transformaciones espectrales, etc
- Colecciones de imágenes: información y metadatos, filtrado, mosaicado, visualización, etc
- Geometrías, objetos geográficos y colecciones de objetos geográficos: operaciones

geométricas, filtros, interpolaciones de vectorial a raster, etc.

- Reducciones: estadísticas de la región de una imagen, conversión vectorial a raster y viceversa, regresión lineal, etc
- Uniones: uniones simples, uniones espaciales, uniones internas, etc.
- Gráficos: histogramas, series de tiempo en regiones de imágenes, gráficos de series de tiempo, etc.
- Matrices: transformación de matrices.
- Algoritmos especializados: algoritmos Landsat y Sentinel-1.
- Gestión de activos: importación de archivos raster, importación de tablas de datos, exportación de datos

3.1. Clasificación de imágenes

La clasificación de imágenes⁹ hace referencia a la tarea de extraer clases de información de una imagen ráster multibanda. Existen dos tipos de clasificación: supervisada y no supervisada. En realidad suelen utilizarse ambos procedimientos ya que son complementarios. La clasificación supervisada utiliza nuestro conocimiento del terreno pero si este conocimiento no es perfecto pueden escaparse cosas que una clasificación no supervisada detectaría.

Clasificación supervisada

La clasificación supervisada utiliza firmas espectrales obtenidas de las muestras de capacitación para clasificar una imagen. Se pueden crear fácilmente muestras de capacitación para representar las clases que se desea extraer. Se trata de áreas de las que se conoce a priori la clase a la que pertenecen y que servirán para generar una firma espectral característica de cada una de las clases. Se denominan clases informacionales.

⁹Las imágenes satelitales pueden ser ópticas o pueden ser de tipo radar. Al momento de que los algoritmos procesan los datos de las imágenes, en el caso de ser óptica, lo que se mide es la reflectancia y en caso de ser radar las estadísticas se realizan de acuerdo con los coeficientes de retrodispersión.

Estas deben ser áreas lo más homogéneas posibles y en las que sepamos lo que había el día que se tomó la imagen.

Clasificación no-supervisada

En la clasificación no supervisada no se establece ninguna clase a priori, aunque es necesario determinar el número de clases que queremos establecer, y se utilizan algoritmos matemáticos de clasificación automática. Los más comunes son los algoritmos de clustering que divide el espacio de las variables en una serie de regiones de manera que se minimice la variabilidad interna de los pixeles incluidos en cada región. Cada región de este espacio de variables define de este modo una clase espectral.

El procedimiento consta de una serie de pasos, en cada paso se identifican los dos individuos más próximos, se hace una clase con ellos y se sustituyen por el centroide de la clase resultante. De este modo cada paso analiza un individuo menos que el anterior ya que van siendo sustituidos por clases. El proceso se detiene cuando se ha alcanzado un número de clases igual al número de clases que había sido establecido a priori.

4. Objetivos

- Conocer algunos de los principales algoritmos de GEE para la clasificación de imágenes satelitales.
- Entender los procesos básicos de clasificación de cobertura terrestre usando imágenes ópticas e imágenes radar.
- Realizar clasificaciones de cobertura en la plataforma GEE empleando datos de Landsat(Para imágenes ópticas) y Sentinel 1(para clasificación de imágenes radar).

5. Metodología

5.1. Clasificación de imágenes ópticas de LANDSAT

Primero se abre Google Earth Engine:
<https://code.earthengine.google.com>

Buscamos los datos Landsat en la barra del navegador. Al hacerlo se abrirá una ventana con una descripción de los datos mostrando:

-Los pasos que se siguieron para procesar los datos (eliminación de ruido térmico, calibración radiométrica, corrección de terreno)

-Bandas, resolución y Metadatos

Se define un área de interés; en este caso será la cuenca baja del Grijalva. Hay dos formas de hacer esto; una opción es cargando el archivo shape (.shp) con la información necesaria del área de interés y la otra opción es dibujando de forma manual usando las herramientas de creación de líneas y polígonos en GEE. Para esta última opción se selecciona el ícono para dibujar una línea; dibuja un rectángulo sobre el área de interés y damos clic sobre geometry (en el ícono de la rueda), cambiamos el nombre a roi (region of interest) y damos ahora clic en OK.

Para la opción de agregar un archivo shape nos vamos a la pestaña de *Assets*, seleccionamos la pestaña "nuevo." en dónde nos pregunta qué tipo de Asset queremos agregar; en este caso es una tabla por ser un archivo de tipo shape. Seleccionamos los archivos necesarios que contienen la información necesaria del shape y los cargamos al programa.

Para nuestro caso de estudio: la cuenca Baja del Grijalva, seleccionamos como periodo de tiempo la temporada invernal del año 2016.

Una vez cargados los archivos necesarios en el Asset los importamos dentro del *Code Editor*. Agregamos la capa espacial para poder visualizarla con el comando de *addLayer*.

Es importante notar que para zonas de alta humedad tendremos, por lo general, imágenes con mayor nubosidad, por tanto, es importante enmascararlas y tener de esta forma una visión más clara del lugar de estudio. Para esto usamos la función *maskL8sr* y removemos los bits 3 y 5 que corresponden a la nube y su sombra respectivamente. Hasta el momento se tiene lo siguiente:

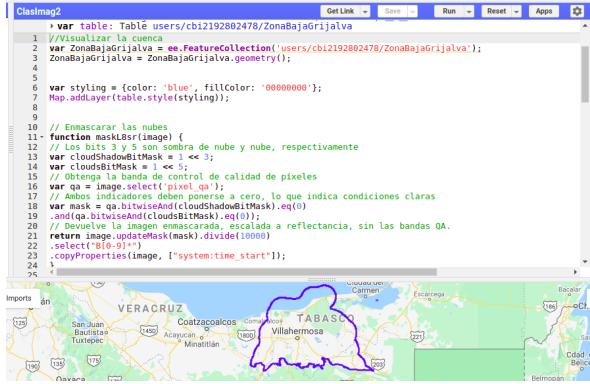


Figura 8: Se muestran todos los comandos que nos entrega una imagen enmascarada, escalada a reflectancia, sin las bandas QA.

Ahora es turno de cargar nuestras colecciones de datos. Se cargan las imágenes del LANDSAT; seleccionamos una escala temporal de las fechas en que queremos dichas imágenes(en este caso la temporada invernal del 2016); filtramos las fronteras preestablecidas de la zona grijalva y mandamos a llamar la función creada anteriormente para enmascarar la nubosidad. Para este algoritmo calculamos tabién el NDVI¹⁰, empleado para clasificar las imágenes como un dato extra. Se crea, por tanto, un compuesto de la media de todas las imágenes de la colección, además de crear la diferencia normalizada, junto con las bandas b5 y b4 que corresponden al NDVI.

```

rth Engine Search places and datasets...
reg2 Get Link Save Run Reset Apps Inspector Console Tasks
1 Landsat8Invernal = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
2 .filterDate('2016-01-01', '2016-03-01')
3 .filterBounds(ZonaBajaGrijalva)
4 print(Landsat8Invernal)
5 //Calcular el NDVI y crear una imagen que contenga todas las bandas Landsat 8 y NDVI
6 var composite16 = Landsat8Invernal.mean();
7 var ndvi16 = composite16.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI16LI');
8 var composite16 = ee.Image.cat(composite16, ndvi16);

```

Figura 9: Tenemos el script respectivo que carga la colección de imágenes del LANDSAT del periodo invernal seleccionado de 2016 con 13 elementos y el script que calcula el NDVI y crea una imagen que contiene todas las bandas Landsat y el cálculo del NDVI.

Una vez en este punto estamos listos para agregar la capa espacial y visualizarla.

¹⁰ Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, conocido como NDVI, por sus siglas en inglés, es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para el cálculo de los índices de vegetación es necesaria la información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja de ese espectro electromagnético.

¹¹El valor de la colección es el nombre que identifica el tipo de objetos que se está clasificando, dado que son características del terreno, se nombra como cobertura terrestre. Depende del tipo de clasificación que se esté haciendo.

Ahora si podemos crear "áreas de entrenamiento". Hay tres formas: La primera es creando puntos, la segunda es creando polígonos y la tercera es creando una combinación de áreas y polígonos sobre la imagen satelital de estudio. Dependiendo cuales sean los objetivos y el caso de estudio se emplea una u otra forma de entrenamiento, sin embargo, en general, resulta mejor usar polígonos dado que con menos cantidad de ellos es posible obtener una buena clasificación respecto a la cantidad de puntos necesarios para una clasificación similar.

Empezamos entonces a generar polígonos sobre cierta área, por ejemplo una laguna, cuidando que la zona sea lo más homogénea posible, trazamos un polígono y lo nombramos según la clasificación que queramos crear. Si es una laguna entonces podemos nombrar a la clasificación: cuerpos de agua.

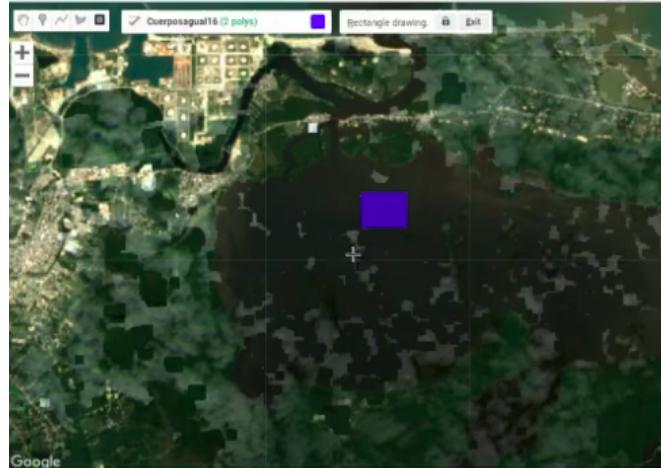


Figura 10: Entrenamiento para clasificación de cuerpos de agua a partir de las imágenes LANDSAT de la zona baja del Grijalva.

Al momento de crear una nueva clasificación seleccionamos el número de la colección de clasificaciones y el valor de dicha colección que en este caso es "Landcover"(o cobertura terrestre)¹¹. Vamos entonces a crear otras clasificaciones, todas ellas se pueden listar como:

1. Cuerpos de Agua
2. Manglares
3. Agricultura
4. Asentamientos humanos
5. Suelo desnudo
6. Área saturada de vegetación

Una vez que se tienen todas las áreas de entrenamiento, se tiene que revisar cuandas bandas espectrales hay para realizar dicho entrenamiento o cuantas bandas hay, de la imagen satelital en uso. LANDSAT tiene 11 bandas disponibles y tenemos que decidir cuales emplear de acuerdo a las características ue queramos resaltar de nuestra clasificación. En este caso emplearemos todas las bandas.

```

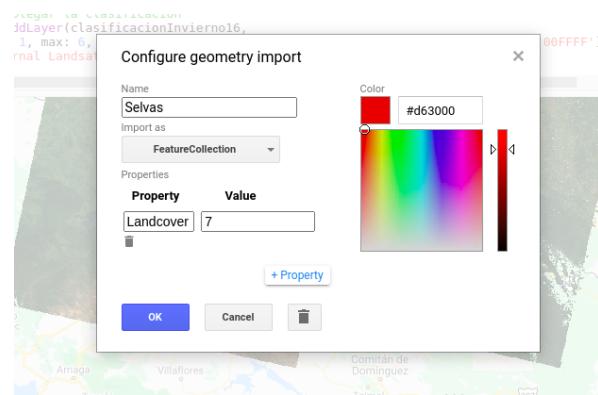
42 //Unir categorías
43 var AEInvierno16 =
44 CuerposaguaI16.merge(ManglarI16).merge(AgriculturaI16).merge(AsentamientoshumanosI16
45
46
47
48
49 //Bandas para entrenamiento
50 var bandsI16 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11', 'NDVI16LI'];
51 var bandsI8 = ['NDVI'];
52 var EntrenamientoI16 = compositeI16LI.select(bandsI16).sampleRegions({
53 collection: AEInvierno16,
54 properties: ['Landcover'],
55 scale: 30
56 });
57
58 //Entrenamiento del clasificador
59 var ClasificadorInvi16 =
60 ee.Classifier.randomForest().train({
61 features: EntrenamientoI16,
62 classProperty: 'Landcover',
63 inputProperties: bandsI16
64 });
65
66 //Correr la clasificación
67 var clasificaciónInvierno16 = compositeI16LI.select(bandsI16).classify(ClasificadorInvi16);
68
69 //Desplegar la clasificación
70 Map.addLayer(clasificaciónInvierno16,
71 {min: 1, max: 6, palette: ['263aff', 'ff7c37', 'c0c0c0', 'FFFF00', '00ffff']},
72 {min: 1, max: 6, palette: ['00ffff']});
73
74 Inernal Landsat I9';
```

La primera parte de este script (mostrado en la imagen anterior) une todas las categorias creadas de forma independiente en una que las identifique a todas como parte de una misma área. En la siguiente parte le especificamos con que bandas se va a entrenar, también llamamos a las áreas de entrenamiento creadas y unificadas, la característica o propiedad(En este caso Landcover) y por último la escala(Que al ser LANDSAT la escojemos de 30). Hasta este punto tenemos las especificaciones generales del entrenamiento pero aún no el entramamiento *per se*. Para el entramiento del clasificador ecojemos el algoritmo de entramiento, en nuestro caso usaremos el Random Forest, y anexamos las espesificaciones creadas en la parte de código anterior.

Después de esto necesitamos desplegarlo como una nueva capa para para poder visualizar

la clasificación y el formato de esta. Agregamos una nueva capa, en donde especificamos que queremos una paleta de colores que vaya del 1 al 6, correspondiente al número de clasificaciones y anexamos los colores con los que vamos a clasificar. Le damos el nombre a la nueva capa de: Inernal Landsat 16.

Una vez teminado el proceso de clasificación es posible corregir los errores creando una matriz de confusión y tomando nuevos polígonos de entrenamiento justo en las zonas que hubo errores. Por otro lado, si al final olvidamos agregar una clasificación, también es posible agregar otra clase. Simplemente se agrega una nueva capa en *Geometry Imports* y se genera la nueva clase de tipo Landcover, para nuestro caso de estudio.



Nueva clase agregada en donde sólo es requerido seleccionar nuevas zonas de entrenamiento; agregar la clase en el script que une todas las categorias(merge) y listo, podemos correr el programa de nuevo.

5.2. Clasificación de imágenes radar de Sentinel-1

De la misma forma que en el caso de las imágenes Lansat, escojemos nuestra zona de estudio; la zona baja de la cuenca del Grijalva, la importamos al editor de código, le damos un color azul de contorno, sin relleno y agregamos la capa correspondiente al visualizador para comenzar.

Ahora tenemos que buscar la colección de imágenes Sentinel-1 del catálogo así que ingresamos en el buscador "Sentinel 1" y seleccionamos la categoría correspondiente.

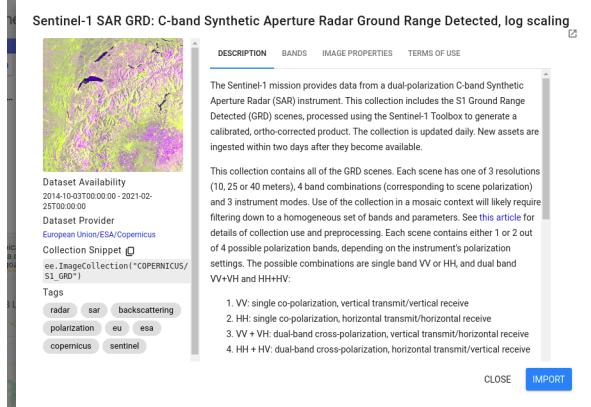


Figura 11: Se muestra toda la información de la colección de imágenes Sentinel 1; La descripción, bandas que abarca su cobertura, propiedades de la imagen así como los términos y condiciones.

Es destacable mencionar que una de las grandes ventajas que aporta la plataforma GEE es el ahorro de tiempo al momento de realizar correcciones en las imágenes para poder tener una visualización adecuada con la cual sea posible trabajar. Tan sólo para coreegir una imagen, en otro software como QGIS o Grass, podría tardar hasta un día entero en sólo correcciones. Sin embargo, en GEE es muy sencillo y el proceso es casi automático ya que nos da las imágenes de la colección deseada prácticamente corregidas.

Entonces cargamos la colección de imágenes y aplicamos una serie de filtros necesarios como el tipo de transmisión con polarización 'VV', en este caso.

```
ClasImagSentinel1 * Get Link Save Run Reset Apps
Imports (2 entries) □
  var table: Table = ee.Table(users/cb1292802478/ZonaBajaGrrialva
  var imageCollection: ImageCollection "Sentinel-1 SAR GRD: C-band Synthetic Aperture Radar Ground Range Detected, log scaling"
//Visualizar la cuenca
2 var ZonaBajaGrrialva = ee.FeatureCollection("users/cb1292802478/ZonaBajaGrrialva");
3 ZonaBajaGrrialva = ZonaBajaGrrialva.geometry();
4 var styling = {color: 'blue', fillColor: '00000000'};
5 Map.addLayer(table.style(styling));
6 //Cargar imágenes Sentinel 1W
7 var Sentinel16Inverno16 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")
8 .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
9 .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
10 .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
11 .filterMetadata('resolution meters', 'equals', 10)
12 .filter(ee.Filter.eq('areaFilter', 'ZonaBajaGrrialva'))
13 .select(['VV']);
14 print(Sentinel16Inverno16);
15 Sentinel16Inv = Sentinel16Inverno16.filterDate('2016-01-01', '2016-02-28').mosaic();
16 print(Sentinel16Inverno16, '16-SInv');
17 //Filtro por fecha
18 var Sentinel16Inv = Sentinel16Inverno16.filterDate('2016-01-01', '2016-02-28').mosaic();
19 //Aplicar filtro de Speckle
20 var SMOOTHING_RADIUS = 50;
21 var Sentinel16InvFiltered = Sentinel16Inv.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
22 //Desplegar las imágenes filtradas
23 Map.addLayer(Sentinel16InvFiltered, {min:-15,max:0}, '16S-Inv');
24
```

Figura 12: Carga de imágenes de la colección Copernicus, aplicación de filtros y despliegue de capa.

Consideraremos un filtro para las propiedades del satélite; en nuestro caso seleccionamos imágenes tomadas de manera descendente en su órbita y que tiene en este caso una mejor resolución

que el Landsat(30m), para sentinel 1 tenemos resolución de 10m. Aplicamos un filtro temporal de la temporada invernal del 2016 y le decimos que nos haga un mosaico de imágenes.

Hay un efecto característico de las imágenes radar de tipo interferencia o ruido que se conoce como el efecto *Sal y pimienta*, en inglés este efecto se nombra como *speckle*. Se caracteriza con mostrar en la imagen una serie de puntitos como si tuviera sal y pimienta, de ahí el nombre. Por esta razón se aplica un filtro para omitir este efecto.

Una vez hecho esto, de la misma forma que en el caso de LANDSAT, podemos seleccionar nuestras áreas de entrenamiento, o bien , importar las mismas areas de entrenamiento que usamos con Landsat.

Teniendo listas todas las areas de entrenamiento definimos a Sentinel para entrenamiento de clasificación y a su vez establecemos el entrenamiento del clasificador siendo este últimos el mismo entrenamiento para Landsat usando la función actualizada *smileRandomForest(10)*, donde el 10 es el número de árboles de decisión por crear.

```
ClasImagSentinel1 *
Get Link Save Run Reset
30 // Unir áreas de entrenamiento
31 var AEInviero16 = Cuerosaguall16.merge(Manglar116).merge(Agricultura116).merge(Asentamientoshumanos116)
32
33 //Definir Sentinel para entrenamiento de clasificación
34 var Sentinel16Inviero16 = ee.Image.cat(Sentinel16InvFiltered);
35 var Bandas_Sentinel16Inviero16 = ['VV'];
36 var Entrenamiento_Sentinel16Inviero16 = Sentinel16Inviero16.select(Bandas_Sentinel16Inviero16);
37 collection: AEInviero16,
38 properties: ['Landcover'],
39 scale: 10 );
40
41 //Entrenamiento del clasificador
42 var ClasificadorSentinel16Inviero16 =
43 ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
44 features: Entrenamiento_Sentinel16Inviero16,
45 classProperty: 'Landcover',
46 inputProperties: Bandas_Sentinel16Inviero16);
47
48 //Correr la clasificación
49 var ClasificacionSentinel16Inviero16 =
50 Sentinel16Inviero16.select(Bandas_Sentinel16Inviero16)
51 .classify(ClasificadorSentinel16Inviero16);
52
53 //Visualizar la clasificación
54 Map.addLayer(ClasificacionSentinel16Inviero16,
55 {min: 1, max: 7, palette: ['263aff', '00ff00', 'ff7c37', 'c0c0c0',
56 'ffff00', '00ffff','d63000']});
57 'Invernal Sentinel 16';
58
59 print('Clasificación Sentinel 1 Inviero 16 matriz de error:', ClasificadorSentinel16Inviero16);
60 print('Clasificación Sentinel Inviero 16 exactitud:', ClasificadorSentinel16Inviero16);
61
62 var geometry = ee.Geometry.Rectangle([-94.8, 18.8, -91.5116, 15.0]);
63 Export.image.toDrive{
64
65
```

Figura 13: Script usado para la unión de todos los polígonos de entrenamiento, la definición de las imágenes que serán usadas en dicho entrenamiento y el entrenamiento en si mismo. También se puede identificar el script usado para correr la clasificación, visualizarla, impresión de nuestra matriz de confusión y por último la exportación a un archivo tipo GEOTiff.

6. Resultados y Discusiones

6.1. Imágenes ópticas

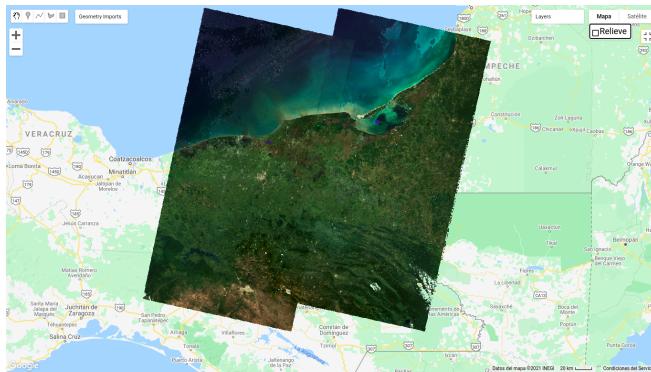


Figura 14: Vemos la capa creada a partir del mosaico de imágenes de la colección de LANDSAT sin nubosidad, en el periodo invernal 2016.

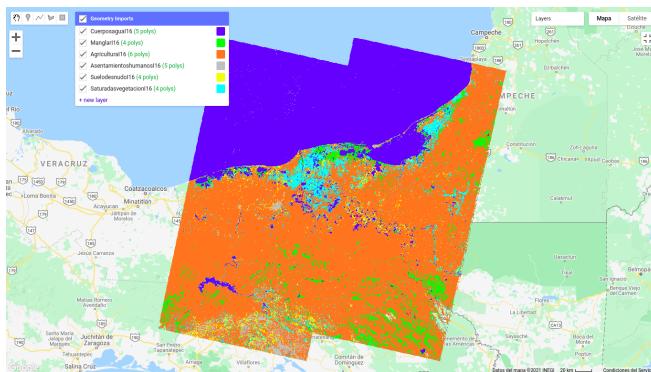


Figura 15: Tenemos la capa creada de nuestra clasificación Ínvernal Landsat 16 como resultado del entrenamiento del clasificador en las 11 bandas disponibles del satélite Landsat.

Es importante destacar que en este caso de estudio, en particular en la clase "manglares", hay una mayor confusión de clases cuando se consideran tanto la cuenca alta como la baja, dado que en la parte central de la cuenca existen también selvas y bosques. Por esta razón es importante conocer de forma presencial la zona de estudio o informarse a través de datos del INEGI, por ejemplo, para tener estrategias diferencias en base a los rasgos o características de la cobertura terrestre.

Sin embargo es posible corregir el error y para esto creamos una matriz de confusión e imprimimos para que muestre el grado de precisión. Finalmente exportamos en formato GEOTiff y queda guardado en el drive.

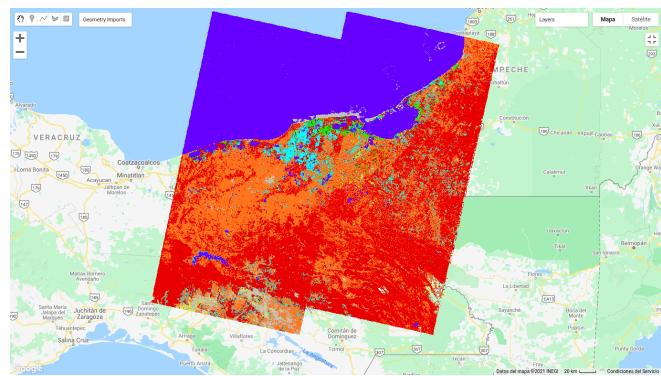


Figura 16: Ahora notamos la nueva capa Ínvernal Landsat 16 con la nueva clase agregada: "Selvas".

Es notable la facilidad de agregar una nueva clase usando esta plataforma, *Google Earth Engine*, generar nuevos polígonos de entrenamiento o incluso crear correcciones sobre las imágenes clasificadas. Con otros tipos de software para sistemas de información geoespacial como Grass, que sin duda es un gran software en SIG, el proceso a seguir para este tipo de tareas es mucho más engorroso. Otra ventaja también es la facilidad, y la diversidad de opciones, con la que se puede compartir el código empleado o áreas de entrenamiento.

6.2. Imágenes radar

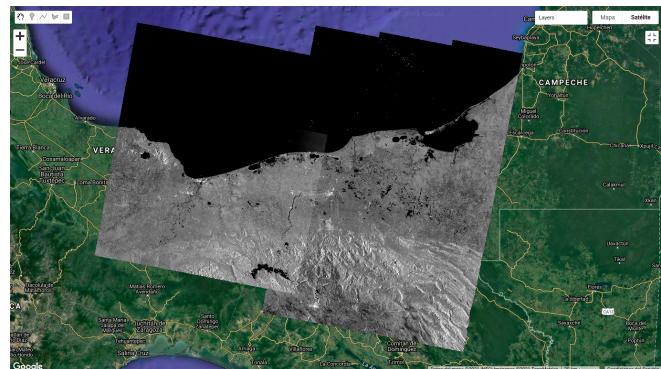


Figura 17: Se muestra el mosaico de imágenes, en escala de grises, del radar Sentinel-1 en la temporada invernal con los filtros necesarios aplicados y lista para su respectiva clasificación.

Notamos en la imagen anterior que las imágenes radar son excelentes para la captación de cuerpos de agua ya que tienen alto nivel de contraste. Sin embargo, para la clasificación de otro tipo de componentes como selvas, manglares, bosques, etc... es complicado hacerlo a simple

vista. Otra característica de las imágenes de tipo radar es que son muy sensibles a cualquier tipo de dinámica. Eso puede traer a colación distintos tonos grisaseos en, por ejemplo, cuerpos de agua que normalmente tienen tonos muy oscuros. Esto podría llegar a confundirse como zonas vegetales cuando son cuerpos de agua donde posiblemente sólo había fuertes corrientes de viento. Por esta razón, debido a su alto nivel de sensibilidad, las imágenes radar también son empleadas para el movimiento de placas tectónicas.

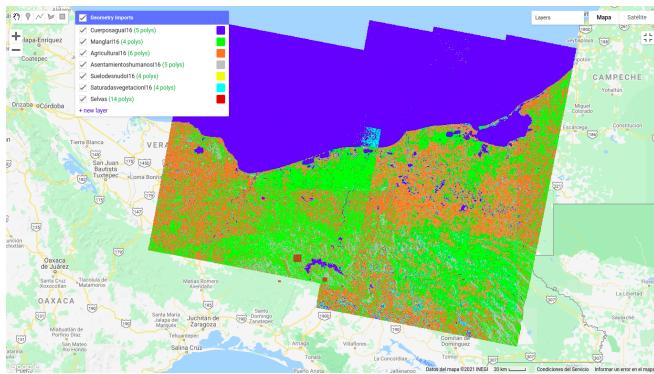


Figura 18: Resultado de la clasificación de la colección de imágenes radar "Sentinel 1"

7. Conclusiones

La percepción remota es un área tecnológica científica que ha tenido un avance exponencial; a pesar de que su creación relativamente reciente, ya están disponibles, a la mano de cualquier investigador interesado, muchas herramientas puestas en su disposición para el procesamiento de datos espaciales. La interfaz entre la máquina y el usuario es cada vez más intuitiva y de más fácil acceso. Es una época muy interesante para los sistemas de información geográfica; las posibilidades de estrategias de investigación para muchos campos de estudio que involucran un conocimiento de la superficie terrestre, de cualquier tipo, son prácticamente ilimitadas.

El tener estas tecnologías a nuestro alcance realmente expanden nuestro sentido de percepción del espacio como nunca antes se había podido. Sin embargo, este campo apenas se encuentra en el umbral de su desarrollo. Los alcances que podrá tener en algunos años son apenas imaginables.

Una herramienta muy poderosa y en constante desarrollo de la actualidad es: Google Earth Engine. La manera de implementación de tantos procesos fundamentales para los SIG y su interfaz muy intuitiva permite hacer tareas como, composición o clasificación de imágenes de forma fácil y usando además todo el poder computacional de los servidores que google pone a la disposición de los investigadores. Tanto software y hardware es puesto en manos del investigador que tan sólo tiene que abrir una cuenta de *developer*, de manera gratuita, en la plataforma y tiene acceso a todo la capacidad de esta poderosa herramienta.

Hemos visto a lo largo de esta práctica una forma de clasificación de imágenes satelitales a través de GEE. Se logró con éxito implementar algoritmos de clasificación supervisada usando imágenes ópticas y de radar de los satélites Landsat y Sentinel 1.

Para el caso de las imágenes ópticas de Landsat hemos notado que la clasificación tiene mejor desempeño para algunas clases, como la diferenciación de manglares o zonas de agricultura. En el caso de imágenes radar tenemos ventajas sobre los cuerpos de agua. Para poder aprovechar las ventajas de cada tipo de imágenes es posible crear una combinación de ambas y a su vez omitir las desventajas como por ejemplo que en las imágenes ópticas no se pueda filtrar de todo las nubosidades. Sin embargo se concluye que es recomendable usar una, otra o ambas de acuerdo al tipo de zona de estudio ya que es posible que surgen errores si hay una combinación de ambas.