



Modalidad Abierta y a Distancia

Itinerario 1: Teledetección

Guía didáctica



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Itinerario 1: Teledetección

Guía didáctica

Carrera	PAO Nivel
▪ Gestión Ambiental	V

Autora:

González Coronel Ivonne María



A M B I _ 3 0 3 6

Asesoría virtual
www.utpl.edu.ec

Universidad Técnica Particular de Loja

Itinerario 1: Teledetección

Guía didáctica

González Coronel Ivonne María

Diagramación y diseño digital:

Ediloja Cía. Ltda.

Telefax: 593-7-2611418.

San Cayetano Alto s/n.

www.ediloja.com.ec

edilojacialtda@ediloja.com.ec

Loja-Ecuador

ISBN digital - 978-9942-39-772-0



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons – **Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0** (CC BY-NC-SA 4.0). Usted es libre de **Compartir** – copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. **Adaptar** – remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: **Reconocimiento**– debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatante. **No Comercial**-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. **Compartir igual-Sí remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.** No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Índice

1. Datos de información.....	8
1.1. Presentación de la asignatura	8
1.2. Competencias genéricas de la UTPL.....	8
1.3. Competencias específicas de la carrera	8
1.4. Problemática que aborda la asignatura.....	9
2. Metodología de aprendizaje.....	10
3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje.....	11
Primer bimestre	11
Resultado de aprendizaje 1.....	11
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje	11
Semana 1	11
Unidad 1. Fundamentos de teledetección	11
1.1. Concepto e historia	12
1.2. Procesos físicos.....	13
1.3. Características orbitales de los satélites.....	15
Actividades de aprendizaje recomendadas	16
Semana 2	18
1.4. Tipos de resolución.....	19
Actividades de aprendizaje recomendadas	22
Autoevaluación 1.....	23
Resultado de aprendizaje 2.....	25
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje	25
Semana 3	25
Unidad 2. Satélites de teledetección.....	25
2.1. Tipos de sensores e imágenes.....	26
Actividades de aprendizaje recomendadas	27

Semana 4	28
2.2. Productos satelitales	28
Actividades de aprendizaje recomendadas	33
Autoevaluación 2.....	35
Resultado de aprendizaje 3.....	37
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje	37
Semana 5	37
Unidad 3. Procesamiento de imágenes	37
3.1. Introducción al procesamiento de imágenes	38
3.2. Correcciones.....	39
Actividades de aprendizaje recomendadas	42
Semana 6	45
3.3. Mejoras de una imagen.....	45
Actividades de aprendizaje recomendadas	47
Semana 7	50
Actividades de aprendizaje recomendadas	52
Autoevaluación 3.....	55
Actividades finales del bimestre	58
Semana 8	58
Actividades de aprendizaje recomendadas	58
Segundo bimestre	61
Resultado de aprendizaje 3.....	61
Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje	61
Semana 9	61
3.4. Análisis y extracción de información.....	61
Actividades de aprendizaje recomendadas	66

Semana 10	67
3.5. Estimación de parámetros físicos	67
Actividades de aprendizaje recomendadas	69
Autoevaluación 4.....	71
Semana 11	73
Unidad 4. Clasificación de imágenes	73
4.1. Fundamentos de clasificación	73
4.2. Clasificación supervisada.....	75
Actividades de aprendizaje recomendadas	76
Semana 12	77
4.3. Clasificación no supervisada	78
Actividades de aprendizaje recomendadas	79
Semana 13	80
4.4. Otras técnicas de clasificación	81
Actividades de aprendizaje recomendadas	83
Semana 14	84
4.5. Validación de la clasificación.....	84
Actividades de aprendizaje recomendadas	86
Autoevaluación 5.....	88
Semana 15	90
4.6. Nuevas tendencias en teledetección	90
Actividades de aprendizaje recomendadas	91
Actividades finales del bimestre	92
Semana 16	92
Actividades de aprendizaje recomendadas	92
4. Solucionario	95
5. Referencias bibliográficas	101
6. Anexos	103



1. Datos de información

1.1. Presentación de la asignatura



1.2. Competencias genéricas de la UTPL

- Orientación a la innovación y a la investigación.

1.3. Competencias específicas de la carrera

- Propone alternativas de planificación del uso del territorio, considerando las unidades ambientales.
- Recolecta, analiza e interpreta datos cuantitativos y cualitativos, que respalden las propuestas de manejo y conservación de los recursos ambientales.
- Maneja bases de datos geográficos y realiza búsquedas espaciales.

1.4. Problemática que aborda la asignatura

El núcleo problémico que aborda esta asignatura es la escasa *planificación territorial de acuerdo al uso y potencialidades*.

El uso de tecnologías para el monitoreo ambiental es una herramienta de gran utilidad para la planificación, gestión y conservación de los recursos naturales. Por este motivo, en la asignatura de Teledetección se utilizarán fuentes de datos, herramientas y técnicas que contribuyan a que los futuros profesionales propongan alternativas de planificación del uso del territorio, considerando las unidades ambientales.



2. Metodología de aprendizaje

Con el objetivo de aportar al logro de los resultados de aprendizaje, en esta asignatura se utilizará la metodología de aprender haciendo, centrada en la adquisición de conocimientos para su posterior aplicación. La naturaleza de esta asignatura implica un marco conceptual amplio y complejo, por lo cual se propone la revisión de lecturas y videos, que se complementarán con la realización de prácticas guiadas en programas informáticos de acceso libre, cuyos resultados serán evaluados utilizando como instrumentos foros y cuestionarios. Este proceso requerirá de compromiso y dedicación y, su éxito dependerá de una adecuada organización de tiempo. La mayor parte de contenidos prácticos serán abordados con la tutoría del docente, mientras que los elementos teóricos suficientes se reforzarán siguiendo esta guía y los recursos educativos propuestos por el docente. Le recomiendo revisar el documento [Design and methodology for a Remote Sensing course](#), para conocer más de la aplicación de la metodología “a prender haciendo” en el campo de la Teledetección.



3. Orientaciones didácticas por resultados de aprendizaje



Primer bimestre

Resultado de aprendizaje 1

- Conoce los principios físicos de la teledetección.

Estimado/as estudiantes, durante las semanas 1 y 2 adquirirán la base conceptual necesaria para comprender los fundamentos de la teledetección, el funcionamiento de este proceso y la estructura de los productos de teledetección. Estos contenidos le permitirán familiarizarse con los conceptos y principios básicos de la teledetección y, por lo tanto, alcanzar el resultado de aprendizaje planteado. Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje



Semana 1

Unidad 1. Fundamentos de teledetección



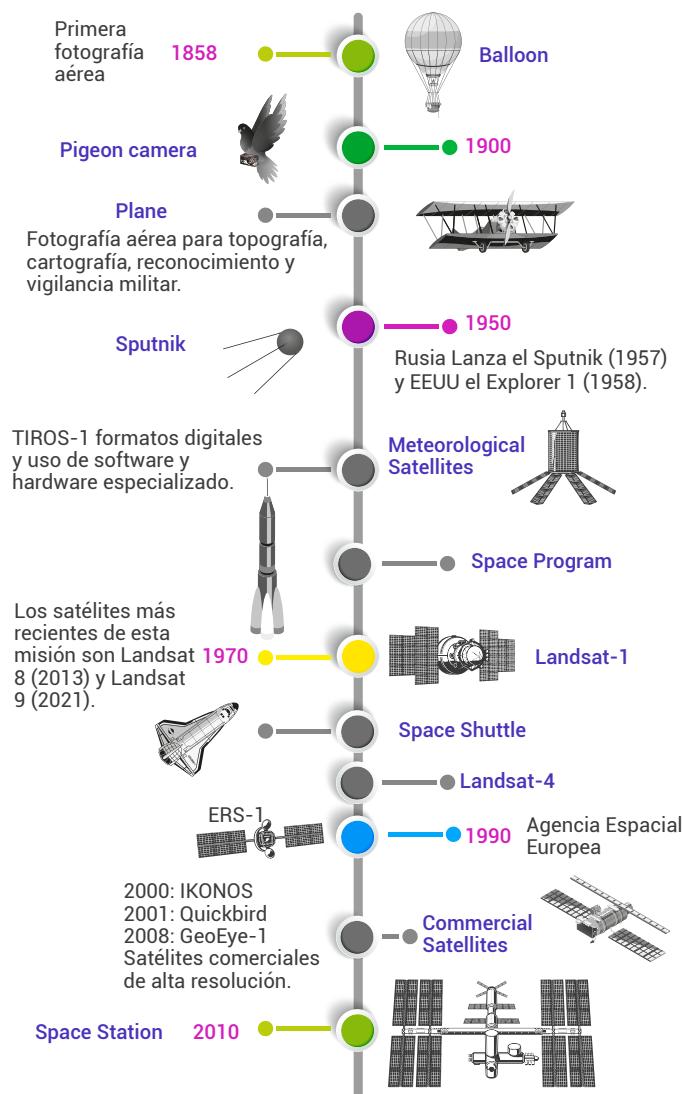
Para profundizar en los contenidos de esta semana, realice una lectura comprensiva de los temas: introducción, detalles históricos, elementos del proceso de teledetección, el espectro electromagnético en teledetección, reflectancia de las superficies terrestres y características orbitales de los satélites de teledetección del libro de [Satélites de teledetección para la gestión del territorio](#) de Labrador García et al. (2012).

A continuación, le invito a retroalimentar los contenidos de la lectura con las siguientes explicaciones y ejemplos propuestos. Esto le servirá para comprender la definición e historia de la teledetección, los procesos físicos que intervienen en la misma y las propiedades de las órbitas satelitales.

1.1. Concepto e historia

La **teledetección** es el uso de la energía electromagnética para medir las propiedades físicas de objetos distantes. Es decir, permite obtener información de la superficie terrestre a distancia. Incluye la fotografía y la prospección geofísica, así como técnicas más recientes que utilizan otras partes del **espectro electromagnético**. La historia de la teledetección comienza con la **fotografía**. El origen de otros tipos de teledetección se remonta a la Segunda Guerra Mundial, con el desarrollo de los sistemas de detección por **radar**, sonar e infrarrojos térmicos (Moore, 1979). En la figura 1 puede observar un resumen de la evolución de la teledetección a lo largo del tiempo.

Figura 1.
Desarrollo histórico de la teledetección



Nota. Adaptado de *Introduction to Remote Sensing [Imagen]*, por Geoscience Australia y Australian National University, 2020, [DEA for Geospatial Analysts](#). Apache License 2.0.

1.2. Procesos físicos

La teledetección requiere de una fuente de energía, por lo general la energía proveniente del sol. Esta energía interactúa con la superficie terrestre, siendo la energía reflejada por los objetos la que se registra en el sensor remoto.

Luego esta información se procesa, analiza y distribuye al usuario final como se observa en la figura 2.

Figura 2.
Esquema del proceso de teledetección



Nota. González, I., 2023.

El **espectro electromagnético** es un modelo para representar la energía electromagnética. Revise la siguiente infografía para comprender de mejor manera las diferentes regiones del espectro y sus propiedades.

[Las regiones del espectro electromagnético.](#)

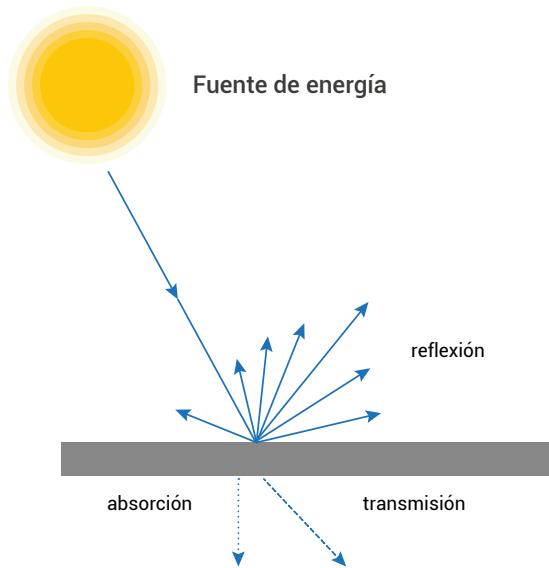
Cuando la energía solar alcanza la superficie, ocurren tres procesos.

1. **La absorción:** se produce cuando la radiación (energía) es absorbida por el objeto.
2. **La transmisión:** se produce cuando la radiación atraviesa el objeto.
3. **La reflexión:** se produce cuando la radiación "rebota" en el objeto y se redirige.

En la figura 3 puede observar estos tres procesos. En teledetección, lo que más interesa es medir la radiación reflejada por los objetos, pues cada tipo de superficie tiene su forma particular de “reflejar” (**respuesta espectral**).

Figura 3.

Formas de interacción de la energía incidente en la superficie

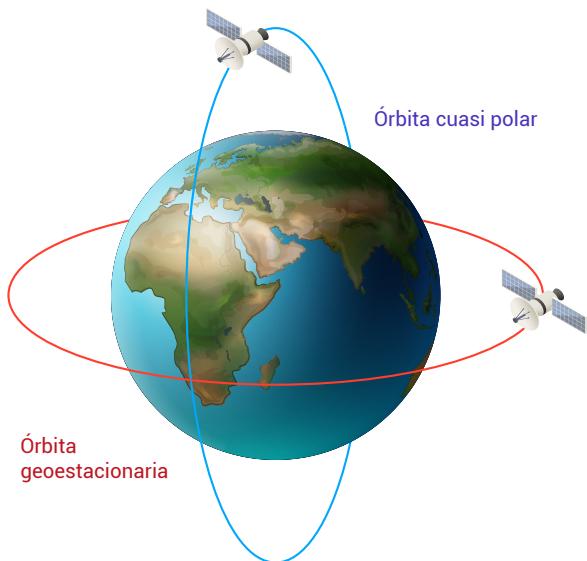


Nota. González, I., 2023.

1.3. Características orbitales de los satélites

La trayectoria que sigue un satélite se denomina órbita. **Los satélites** meteorológicos, de comunicación y de posicionamiento global a menudo se encuentran en una órbita geoestacionaria, a una altitud elevada (por ejemplo, 36000 km). Casi todos los satélites que están en una órbita polar están en altitudes más bajas, se suelen utilizar para el monitoreo de cultivos, bosques e incluso la seguridad global. Una órbita polar viaja de norte a sur sobre los polos y tarda aproximadamente una hora y media en dar una vuelta completa. En la figura 4 se ilustra la diferencia entre la órbita geoestacionaria y cuasi polar.

Figura 4.
Diferencia entre órbitas satelitales



Nota. González, I., 2023.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Estas le permitirán verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Reflexione, de los 5 sentidos (olfato, vista, tacto, oído y gusto), ¿cuáles son forma de teledetección? Para la respuesta, considere que la fuente de información no debe estar en contacto directo del sensor (en este caso los órganos sensoriales: ojo, nariz, oído, lengua, piel).

Actividad 2:

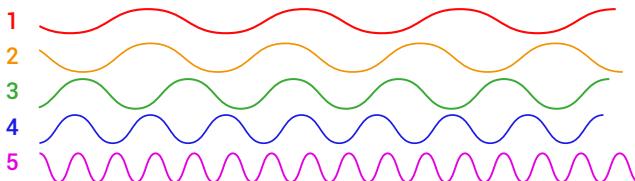
En teledetección, las plataformas de interés son los satélites. Investigue qué otro tipo de plataformas nos permiten obtener datos de manera remota (por ejemplo, a menor altitud o a nivel de la superficie terrestre).

Actividad 3:

Observe las siguientes curvas y conteste las preguntas

Figura 5.

Curvas que representan diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético



Nota. González, I., 2023.

- ¿Cuál curva es de más alta frecuencia?
- ¿Cuál curva es de más baja frecuencia?
- ¿Cuál curva es de longitud de onda más larga?
- ¿Cuál curva es de longitud de onda más corta?
- Asocie cada curva a una de las 5 bandas siguientes: radio, rayos X, infrarrojo, térmico, verde, radar.

Por ejemplo, en la primera pregunta puede darse cuenta de que la curva número 5 es la de más alta frecuencia, pues hay menor distancia entre las crestas. Para resolver el resto de las preguntas, apóyese en la revisión de la infografía sobre del espectro electromagnético.

Actividad 4:

Asigne los siguientes satélites a sus órbitas correctas, escribiendo los nombres de los satélites junto a la órbita correcta: Landsat, KALPANA, IRS, Meteosat, INSAT, Radarsat, SPOT, GMS, QuickBird, GOES, ERS, GOMS, Envisat, Ikonos, NOAA. Puede utilizar la siguiente tabla para anotar su clasificación:

Tabla para completar

Satélites con órbita cuasi polar

Satélites con órbita geoestacionaria

Después de realizar esta actividad, puede notar que los satélites geoestacionarios son geosíncronos y los de órbita cuasi polar son heliosíncronos (coinciden con la hora local). Además, mientras los geoestacionarios son muy útiles para las telecomunicaciones, los cuasi polares tienen un gran impacto en la vigilancia ambiental y monitoreo de cambios en la superficie terrestre.

Actividad 5:

Es importante que complemente la información presentada en la guía y en los recursos de lectura con una revisión constante de la terminología utilizada. Un recurso que le puede ser de utilidad es el siguiente [glosario](#) donde encontrará varios conceptos comúnmente usados en teledetección. En la guía didáctica se resaltarán en negrita los términos que precisan ser revisados en el glosario.

Actividad 6:

Los ejercicios que se plantearán en esta asignatura serán desarrollados con el software libre QGIS. Este software es libre y está disponible para varios sistemas operativos. Además, proporciona varias herramientas y complementos que facilitan el procesamiento y análisis de imágenes satelitales. Acceda a la página oficial de [QGIS](#) para obtener el instalador de la versión estable más reciente (LST). En este breve tutorial puede observar [el proceso de instalación](#) bajo el sistema operativo Windows.

Nota. Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o documento word.



Semana 2



Para profundizar en los contenidos de esta semana, realice una lectura comprensiva del tema Resolución de los sensores remotos: espacial,pectral, radiométrica, temporal del libro de [Satélites de teledetección para la gestión del territorio](#) de Labrador García et al. (2012), en donde conocerá con mayor detalle los tipos de resolución de las imágenes satelitales.

En los siguientes apartados, le invito a retroalimentar los contenidos de la lectura con las siguientes explicaciones y ejemplos propuestos. Fíjese muy

bien en los ejemplos, para que pueda asimilar los conceptos y diferencias de los tipos de resolución de una imagen satelital.

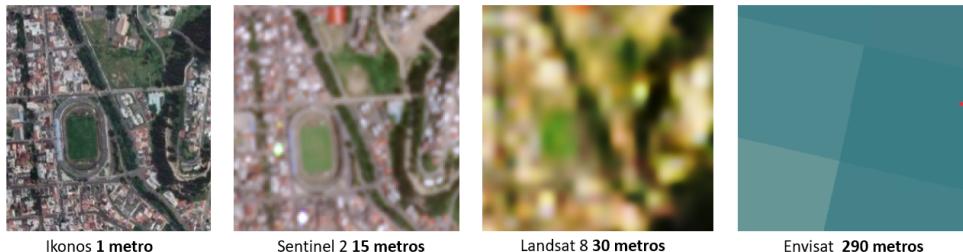
1.4. Tipos de resolución

El producto de la teledetección es una **imagen satelital**. La imagen satelital no es una simple fotografía, sino que presenta características relacionadas con la órbita y el tipo de sensor que está a bordo del satélite. A continuación, revisaremos brevemente dichas características:

- a. **Resolución espacial:** una imagen satelital es una matriz con celdas. Estas celdas se conocen como píxeles. A menor tamaño de píxel, mayor resolución espacial. Una resolución menor a 2 metros se considera alta, de 2 a 30 metros media y mayor a 30 metros baja. En la figura 6 se representa la zona correspondiente al estadio federativo de Loja con diferentes productos.

Figura 6.

Tamaño de píxel de diferentes productos satelitales

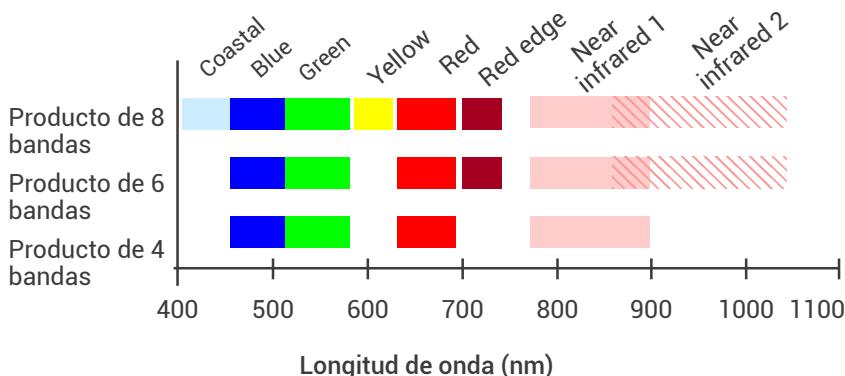


Nota. Estadio federativo de Loja visto con productos de diferente resolución espacial (EO Browser, 2023).

- b. **Resoluciónpectral:** como se mencionó anteriormente, una imagen satelital representa la respuesta espectral de los objetos a su interacción con la energía. Entonces, la resolución espectral hace referencia a la capacidad de un sensor de discriminar diferentes longitudes de banda de ese espectro de energía. Un mayor número de **bandas** nos indica mayor resolución espectral. En la figura 7, se ejemplifica la diferencia en el número de bandas de algunos productos satelitales.

Figura 7.

Bandas espectrales y longitud de onda de diferentes productos satelitales



Nota. Adaptado de *Mapping Complex Urban Land Cover from Spaceborne Imagery: The Influence of Spatial Resolution, Spectral Band Set and Classification Approach* (p. 5), por R. Momeni et al, 2016, *Remote Sensing*, 8 (88).

- c. **Resolución radiométrica:** los valores de una imagen satelital están expresados en niveles de valor de gris o niveles digitales. Mientras más niveles de gris es capaz de discernir un sensor, se tiene una mayor resolución radiométrica. Por ejemplo, el sensor TM de Landsat 5, es capaz de almacenar hasta 8 bits. Esto quiere decir que puede diferenciar hasta 256 niveles de gris (2^8). Por otro lado, el sensor OLI de Landsat 8 almacena hasta 12 bits, con lo cual discrimina hasta 4096 valores (2^{12}). En la figura 8 podemos notar que, en la imagen de 12 bits, al tener más niveles de gris, se disciernen más detalles.

Figura 8.

Resolución radiométrica de diferentes productos satelitales

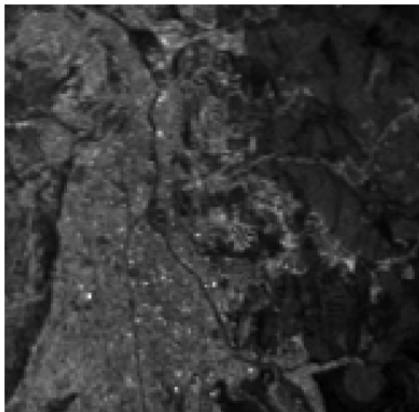


Imagen de 8 bits

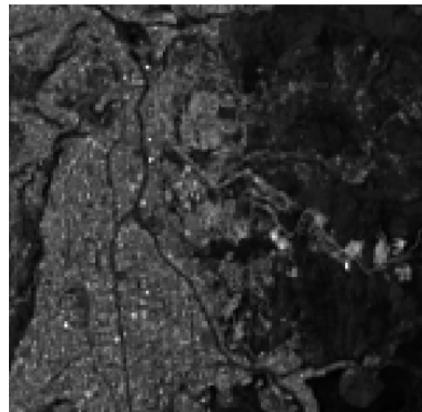


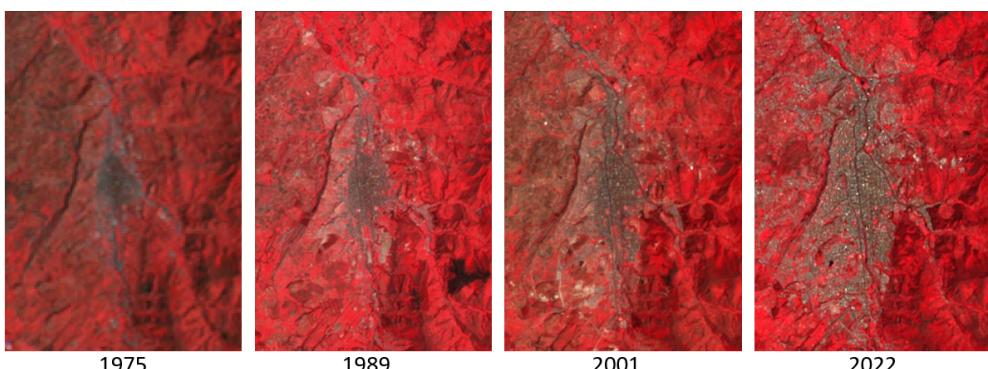
Imagen de 12 bits

Nota. Imágenes Landsat 5 (8 bits) y Landsat 8 (12 bits) de la zona urbana de Loja (EO Browser, 2023).

- d. **Resolución temporal:** recordemos que los satélites recorren una órbita a cierta altitud. Además, tienen diferentes ángulos de visión. De estas características depende el tiempo transcurrido entre dos adquisiciones consecutivas en una misma zona del planeta. La resolución temporal también se denomina tiempo de revisita del satélite. En la figura 9 se visualiza cómo la resolución temporal nos permite realizar análisis **multitemporales** y monitoreo de cambios.

Figura 9.

Crecimiento urbano en la ciudad de Loja



Nota. La imagen muestra composiciones en falso color infrarrojo. El color gris celeste corresponde a las zonas construidas. 1975: Landsat 1-5 MSS, 1989: Landsat 4-5 TM, 2001: Landsat 7 ETM+ y 2022: Landsat 8-9 OLI. (EO Browser, 2023).



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Las imágenes satelitales son útiles para estudiar diferentes procesos como los que se indican en la tabla a continuación. Investigue en la web qué resolución espacial se utiliza en cada caso. Luego realice la actividad donde debe reconocer la aplicación de resoluciones

[**Aplicaciones de las imágenes según su resolución.**](#)

Actividad 2: Estimado estudiante le invito a resolver el siguiente juego de relacionar sobre satelitales y su resolución espacial.

[**Enunciados de las imágenes satelitales según su resolución.**](#)

Actividad 3: Revise nuevamente los contenidos de las semanas 1 y 2. Luego, compruebe el aprendizaje alcanzado sobre la unidad 1, realizando la siguiente autoevaluación. En las preguntas planteadas, seleccione la respuesta correcta.



Autoevaluación 1

1. () Teledetección es lo mismo que sistemas de información geográfica.
2. () El primer satélite meteorológico que fue lanzado al espacio se llama TIROS I.
3. () Dentro de las regiones del espectro electromagnético, el espectro visible se encuentra en la longitud de onda que va entre los 0.4 µm – 0.7 µm.
4. () Una órbita geoestacionaria es la que observa toda la superficie terrestre simultáneamente.
5. () La distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra se refiere a la resolución espacial.
6. El número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar se refiere a la resolución:
 - a. Espacial.
 - b. Espectral.
 - c. Radiométrica.
 - d. Temporal.
7. La resolución que define el máximo número de niveles digitales detectables por un sensor es:
 - a. Espacial.
 - b. Espectral.
 - c. Radiométrica.
 - d. Temporal.

8. La frecuencia con la que un sensor pasa por un mismo punto de la Tierra se refiere a la resolución:
- a. Espacial.
 - b. Espectral.
 - c. Radiométrica.
 - d. Temporal.
9. ¿Cuál es el tipo de resolución que permite diferenciar imágenes monocromáticas, multiespectrales, e hiperespectrales?
- a. Espacial.
 - b. Espectral.
 - c. Radiométrica.
 - d. Temporal.
10. Para monitorear la salud de la vegetación a largo plazo en una región, las imágenes más adecuadas son las de resolución espacial:
- a. Baja.
 - b. Media.
 - c. Alta.

[Ir al solucionario](#)

Resultado de aprendizaje 2

- Identifica los tipos de sensores y satélites y sus características.

El objetivo es alcanzar el resultado de aprendizaje con una clara comprensión de la variedad de productos disponibles, para que esté en la capacidad de alcanzar el resultado de aprendizaje de identificar y seleccionar una imagen satelital en función de lo que le interese estudiar, por ejemplo, deforestación, variación del clima, monitoreo de cambios de uso del suelo, etc.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje

Estimado/as estudiantes, en la planificación de las semanas 3 y 4 se propone el estudio de las características de los diferentes tipos de sensores y productos satelitales. Recuerde revisar de manera paralela los contenidos con las actividades de aprendizaje recomendadas y actividades de aprendizaje evaluadas.



Semana 3

Unidad 2. Satélites de teledetección



Para profundizar en los contenidos de esta semana, realice una lectura comprensiva del tema: Tipos de imágenes de teledetección del libro de [Satélites de teledetección para la gestión del territorio](#) de Labrador García et al. (2012), en donde revisará un resumen sobre los tipos de imágenes satelitales.

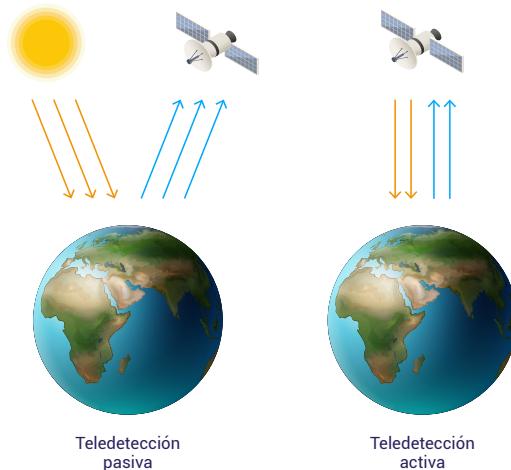
Seguidamente, le sugiero revisar las explicaciones y ejemplos propuestos para que pueda reforzar su comprensión de la lectura realizada. Al finalizar, tendrá claro que los satélites son plataformas que llevan a bordo diferentes tipos de sensores, y estos sensores a su vez producen distintos tipos de imágenes. Asimismo, se podrá dar cuenta que, como analista de imágenes, es esencial identificar estas diferencias para poder seleccionar correctamente el producto satelital con el que debemos trabajar, dependiendo del objetivo de estudio.

2.1. Tipos de sensores e imágenes

Los datos obtenidos mediante teledetección provienen de **sensores pasivos** y activos. Los sensores pasivos adquieren datos de intensidades de radiación electromagnética generada por el sol y reflejada en la superficie del planeta. Los **sensores activos** envían y generan un pulso de energía que se refleja en el satélite para ser registrado (figura 10).

Figura 10.

Esquema de funcionamiento de sistemas de teledetección pasivos y activos



Nota. González, I., 2023.

En la tabla 1, podemos observar un resumen sobre los tipos de imágenes satelitales y sus características.

Tabla 1.*Tipos de imágenes satelitales*

Fuente	Tipo de imagen	Descripción
Sensor pasivo	Visible	Imagen con los tres canales del espectro visible: rojo, verde y azul
Sensor pasivo	Infrarroja	Canales visibles y un rango del canal infrarrojo
Sensor pasivo	Multiespectral	De 7 a 12 bandas, anchos de banda discretos
Sensor pasivo	Hiperespectral	Más de 50 bandas, anchos de banda continuos
Sensor pasivo	Pancromática	Imagen en blanco y negro o escala de grises. Un canal monoespectral.
Sensor activo	Radar	Opera en la región de microondas (radio).
Sensor activo	Lidar	Utiliza láser o luz (ultravioleta, visible, infrarrojo cercano o de onda corta) para analizar la radiación reflejada o retrodispersada

Nota. Adaptado de Jia et al. (2021).

Un caso especial son las **imágenes estéreo**, provenientes de sensores pasivos, las cuales sirven para generar modelos de elevación a partir de varias imágenes de un mismo sitio, pero tomadas desde diferentes ángulos. Otro caso son las imágenes fusionadas, en las cuales se integran imágenes **pancromáticas** con multiespectrales o multiespectrales con **hiperespectrales** y pancromáticas, con la finalidad de obtener productos con una mejor resolución espacial y espectral.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Estimado estudiante le invito a resolver el siguiente juego de relacionar sobre los sistemas de teledetección pasivos y activos.

[Sistemas de teledetección pasivos y activos.](#)

Actividad 2:

Explore imágenes satelitales en la plataforma [EO Browser](#). Le invito a realizar el siguiente ejercicio para dicha exploración: [Exploración de imágenes satelitales en EOBrowser](#).



Semana 4

2.2. Productos satelitales



Para profundizar en los contenidos de esta semana, realice una lectura comprensiva del tema Satélites de teledetección del libro de [Satélites de teledetección para la gestión del territorio](#) de Labrador García et al. (2012), en donde encontrará datos importantes sobre una gran variedad de productos satelitales de sensores pasivos, que son los más frecuentemente utilizados.

Le recomiendo revisar las siguientes explicaciones y ejemplos para que asimile la información acerca de los satélites de teledetección. Ponga especial atención a las tablas resumen, ya que sintetizan la información más relevante de cada satélite. Además, en forma complementaria a la lectura de esta semana, se ha añadido una descripción del programa Landsat. Le sugiero revisar detenidamente este tema, pues los productos Landsat son muy utilizados en estudios ambientales.

Como estudiamos en la reseña histórica de la teledetección, el lanzamiento de satélites de alta resolución espacial empezó a inicios de los años 2000, principalmente con fines comerciales. A continuación, se resumen los satélites puestos en órbita hasta el año 2013 y que tienen una resolución espacial igual o inferior a 30 metros por píxel (tabla 2).

Tabla 2.*Características de algunos productos satelitales*

Satélite	Lanzamiento	Sensor	Resolución espacial (m)	Número de bandas	Tipo imagen	Resolución temporal (días)
Dmc	2002	Slim-6	32	3	Multiespectral	<1
Dmc	2002	Slim-6-22	22	3	Multiespectral	<1
Earth observing - 1 (eo-1)	2000	Ali	Ms: 30 Pan: 10	9	Multiespectral	16
Earth observing - 1 (eo-1)	2000	Hyperion	30	220	Hiperespectral	16
Eros a	2000	Ccd (eros a)	1.8	1	Pancromática	4
Eros b	2006	Ccd-tdi (eros b)	0.7	1	Pancromática	4
Formosat-2	2004	Formosat-2	Ms: 8 Pan: 2	4	Pancromática, multiespectral	1
Geoeye-1	2008	Geoeye-1	Ms: 2 Pan: 0.5	4	Pancromática, multiespectral, fusionada	3
Ikonos	1999	Ikonos	Ms: 4 Pan: 1	4	Pancromática, multiespectral, fusionada	3
Kompsat-2	2006	Kompsat-2	Ms: 4 Pan: 1	4	Pancromática, multiespectral, fusionada	3
Landsat-7	1999	Landsat-7	Ms: 30 Pan: 15	8		15
Quickbird	2000	Quickbird	Ms: 2.44 Pan: 0.61	4	Pancromática, multiespectral, fusionada	4
Rapideye	2008	Rapideye	6.5	5		1
Resourcesat-2	2011	Liss-iv	5.8	3		5
Resourcesat-2	2011	Liss-iii	23.5	4		24
Spot-5	2002	Hrg	Ms: 10 Pan: 2.5 O 5	4	Pancromática, multiespectral	3.7
Spot-5	2002	Hrs	10	1	Pancromática, multiespectral	26
Terra (eos-am 1)	1999	Aster	15 A 90	14		16
Theos	2008	Theos	Ms: 15 Pan: 2	4	Pancromática, multiespectral, fusionada	5
Worldview-2	2009	Worldview-2	Ms: 2 Pan: 0.5	8	Pancromática, multiespectral, fusionada	3

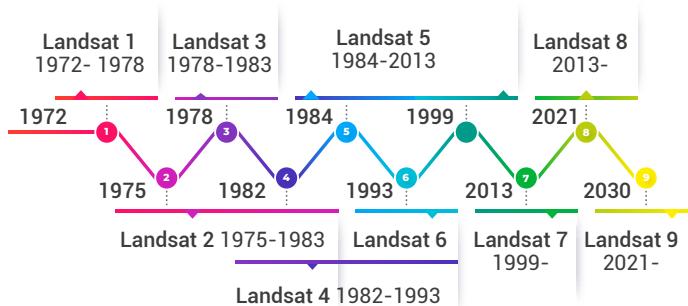
Nota. Adaptado de Labrador García et al (2012).

2.2.1. El programa Landsat

La serie de satélites Landsat es una misión que ha recogido datos de observación de la Tierra desde 1972, proporcionando valiosa información para la gestión de recursos naturales, el monitoreo de cambios y respuesta a catástrofes (Sivanpillai, 2021). En la figura 11 se indica la cronología de lanzamiento de los satélites Landsat.

Figura 11.

Línea histórica de las misiones Landsat



Nota. González, I., 2023.

A continuación, se indica las características de resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal de las diferentes misiones Landsat (tabla 3).

Tabla 3.

Características de los satélites Landsat

Sensor	Satélite	Espacial (m)	Radiométrica	Temporal	Espectral
MSS	L01-05	80 ^a	6 bits	18/16 días ^b	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verde (0.5 to 0.6 μm) ▪ Rojo (0.6 to 0.7 μm) ▪ Infrarrojo (IR) (0.7 to 0.8 μm) ▪ IR (0.8 to 1.1 μm)
TM	L04-05	30 ^c /120 ^d	8 bits	16 días	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Azul (0.45 to 0.54 μm) ▪ Verde (0.52 to 0.60 μm) ▪ Rojo (0.63 to 0.69 μm) ▪ IR cercano (0.76 to 0.90 μm) ▪ IR cercano (1.55 to 1.75 μm) ▪ IR medio (2.08 to 2.35 μm) ▪ IR térmico (10.4 to 12.5 μm)
ETM+	L06 ^e -07	30 ^e /60 ^f /15 ^g	12 bits	16 días	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Azul (0.45 - 0.52 μm) ▪ Verde (0.52 - 0.60 μm) ▪ Rojo (0.63 - 0.69 μm) ▪ IR cercano (0.77 - 0.90 μm) ▪ IR de onda corta (1.55 - 1.75 μm) ▪ IR térmico (10.40 - 12.50 μm) ▪ IR medio (2.08 - 2.35 μm) ▪ Pancromática (0.52 - 0.92 μm)
OLI	L08	30 ^c /15 ^g	12 bits	16 days	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Azul costero (0.43 - 0.45 μm) ▪ Azul (0.45 - 0.51 μm) ▪ Verde (0.53 - 0.59 μm) ▪ Rojo (0.64 - 0.67 μm) ▪ IR cercano (0.85 - 0.88 μm) ▪ IR1 onda corta (1.57 - 1.65 μm) ▪ IR2 onda corta (2.11 - 2.29 μm) ▪ Pancromática (0.50 - 0.68 μm) ▪ Cirrus (1.36 - 1.38 μm)

Sensor	Satélite	Espacial (m)	Radiométrica	Temporal	Espectral
TIRS	L08	100	12 bits	16 days	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TIRS 1 (10.6 - 11.19 μm) ▪ TIRS-2 (11.5 - 12.51 μm)
OLI2	L09	30 ^c /15 ^d	14 bits	16 days	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Azul costero (0.43 - 0.45 μm) ▪ Azul (0.45 - 0.51 μm) ▪ Verde (0.53 - 0.59 μm) ▪ Rojo (0.64 - 0.67 μm) ▪ IR cercano (0.85 - 0.88 μm) ▪ IR1 onda corta (1.57 - 1.65 μm) ▪ IR2 onda corta (2.11 - 2.29 μm) ▪ Pancromática (0.50 - 0.68 μm) ▪ Cirrus (1.36 - 1.38 μm)
TIRS2	L09	100 ^h	14 bits	16 days	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TIRS 1 (10.6 - 11.19 μm) ▪ TIRS-2 (11.5 - 12.51 μm)

Nota. Adaptado de Sivanpillai (2021)

^a La resolución espacial del sensor MSS era 80 m pero se distribuía a 60 m.

^b La resolución temporal de Landsat 1-3 era de 18 días, y para Landsat 4-5 era 16 días.

^c La resolución espacial de las bandas multiespectrales de Landsat 5, 7, 8 y 9 es 30 m.

^d La resolución espacial de la banda térmica en Landsat 4 y 5 era 120 m.

^e El lanzamiento de Landsat 6 fue fallido.

^f La resolución espacial de la banda térmica de Landsat 7 es de 60 m.

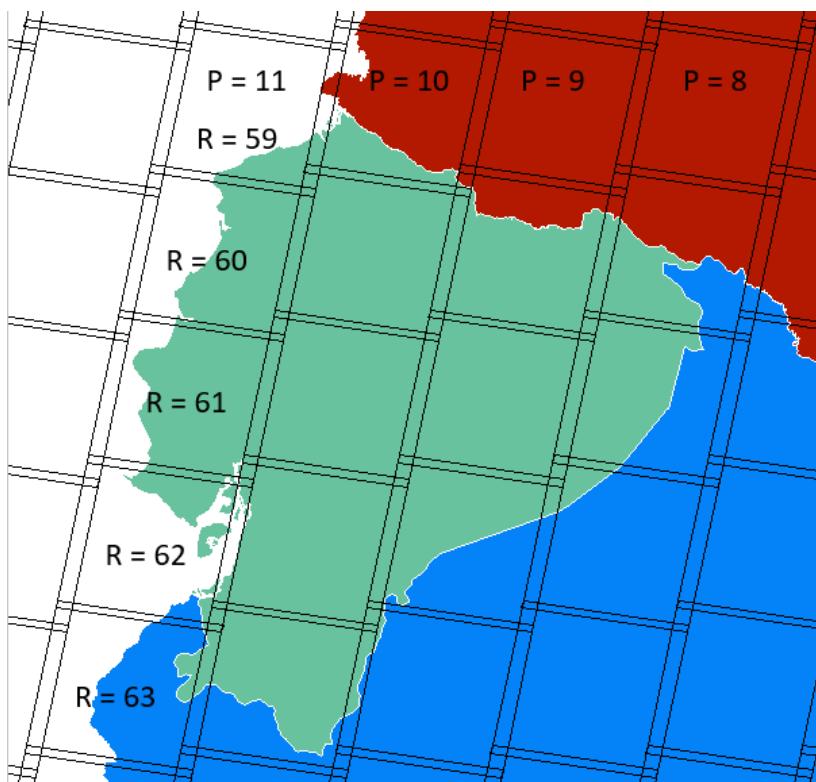
^g La resolución espacial de la banda Pancromática en Landsat 7, 8 y 9 es 15m.

^h Las bandas térmicas de Landsat 9 se adquieren a 100 m pero se remuestrean a 30 m.

Las imágenes Landsat tienen un sistema de numeración global, basado en los parámetros PATH (órbita aproximada del satélite) y ROW (centro nominal de la escena o imagen). En la figura 12 se indica la numeración de las escenas Landsat para Ecuador continental. Por ejemplo, la escena que abarca la mayor parte de la provincia de Loja sería la P10 R63.

Figura 12.

Sistema de referencia mundial Landsat para el territorio ecuatoriano



Nota. Adaptado de <https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/the-worldwide-reference-system/>.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Realice una lectura comprensiva del enlace sobre [Descarga de imágenes satelitales](#). En esta página se encuentran los portales que se suelen utilizar con frecuencia, así como sus características, lo invito a leer la página y subpáginas para que conozca a detalle cada uno de ellos. Cabe mencionar que, aunque estos portales son los más comúnmente utilizados, existen

otras maneras de visualizar y descargar información, sean portales adicionales, *plugins* para programas SIG o la misma página de los sensores.

Actividad 2:

Revise el vídeo para aprender a [registrarse y descargar imágenes Sentinel](#) desde la plataforma EO Browser. Sentinel-2 es una misión de imágenes multiespectrales con una resolución espacial de 10 m y una resolución temporal de 5 días. Las imágenes están disponibles de manera gratuita. Además, hay otros satélites Sentinel de importancia para el monitoreo ambiental.

Actividad 3:

Observe el vídeo [NASA ARSET](#) del minuto 17:03 al 34:03 para aprender a utilizar el aplicativo [AppEARS](#) y obtener series temporales de estos productos. MODIS captura imágenes de la atmósfera, océano y superficie, transmitiendo datos en 36 bandas, que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo térmico, con resoluciones espaciales de 250, 500 y 1000 metros.

Actividad 4:

Existe una gran variedad de opciones para descargar y analizar imágenes satelitales. A continuación, se indican algunos tutoriales muy interesantes: [Planet Explorer](#) (duración 6 minutos), [Earth Explorer](#) (duración 14 minutos), [SNAP](#) (del minuto 1:42 a 15:10). Cree una cuenta en Earth Explorer, de esta plataforma obtendremos imágenes para aplicar los procesos que revisaremos en esta materia.

Actividad 5:

Revise nuevamente los contenidos de las semanas 3 y 4. Luego, compruebe el aprendizaje alcanzado sobre la unidad 2, realizando la siguiente autoevaluación. En las preguntas planteadas, seleccione la respuesta correcta.



Autoevaluación 2

1. () Landsat 7 es una misión que ofrece sus productos para descarga gratuita.
2. () Ikonos tiene una mejor resolución espacial en la imagen monocromática que Geoeye.
3. () Landsat 7 tiene una mejor resolución espectral que Rapideye.
4. () Rapideye tiene una mejor resolución temporal que Landsat 7.
5. () Landsat 7 tiene una mejor resolución espacial en la imagen multiespectral que Geoeye.
6. ¿Cuál de los siguientes **no** es un ejemplo de imagen de un sensor activo?
 - a. Radar.
 - b. Lidar.
 - c. Pancromática.
7. ¿Cuál de las siguientes no es una característica de los sensores pasivos?
 - a. Son los productos satelitales más utilizados en teledetección.
 - b. Utilizan una fuente de energía propia para iniciar el proceso de teledetección.
 - c. Generan productos multiespectrales e hiperespectrales.
8. ¿Cuál de las siguientes no es una característica de los sensores activos?
 - a. Requieren de la energía solar para poder funcionar.
 - b. No se ven afectados por las condiciones meteorológicas.
 - c. Pueden captar imágenes en el día o en la noche.

9. ¿Cuál de los siguientes no es un ejemplo de imagen de un sensor pasivo?
- a. Multiespectral.
 - b. Lidar.
 - c. Visible.
10. ¿Cuál es la imagen que se caracteriza por presentar únicamente los canales rojo, verde y azul?
- a. Visible.
 - b. Multiespectral.
 - c. Infrarrojo.

[Ir al solucionario](#)

Resultado de aprendizaje 3

- Interpreta visual y digitalmente imágenes.

Conocer los procesos de procesamiento de imágenes es necesario para alcanzar el resultado de aprendizaje relacionado a interpretar correctamente, tanto de forma visual como digital, las imágenes satelitales. Se revisarán los aspectos teóricos y prácticos de estos procedimientos a través de las actividades recomendadas y evaluadas que permiten alcanzar el resultado de aprendizaje relacionado.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje

Estimado/as estudiantes, durante las semanas restantes de este primer bimestre abordaremos el procesamiento de imágenes, específicamente las correcciones y mejoras que se pueden realizar previo al análisis de las imágenes. Tome en cuenta que los satélites son plataformas que se encuentran en el espacio y la forma de nuestro planeta es irregular. Estas condiciones generan interferencias al captar la información, por lo tanto, las imágenes requieren de un preprocesamiento antes de ser analizadas.



Semana 5

Unidad 3. Procesamiento de imágenes



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva de los capítulos [Introducción al procesamiento y Correcciones y preparación de imágenes](#) de Olaya (2020), en donde encontrará una explicación detallada sobre las aplicaciones de las imágenes satelitales, las fuentes de error y los principales procedimientos para realizar correcciones como parte del preprocesamiento de imágenes.

A continuación, le propongo algunas explicaciones que le permitirán comprender más fácilmente la lectura de esta semana. Considere que las imágenes satelitales constituyen una fuente de información muy valiosa, por eso es importante conocer los procedimientos para trabajar con ellas y obtener datos de calidad. También le sugiero revisar las figuras planteadas

como ejemplo de correcciones geométricas y radiométricas para fortalecer su comprensión sobre estos temas.

3.1. Introducción al procesamiento de imágenes

Las imágenes tienen mucha importancia en el análisis del territorio, ya que, por un lado, sirven como representación del contexto geográfico, pero por otro ayudan a identificar elementos y características de interés (figura 13).

Figura 13.

Principales usos de las imágenes satelitales



Nota. González, I., 2023.

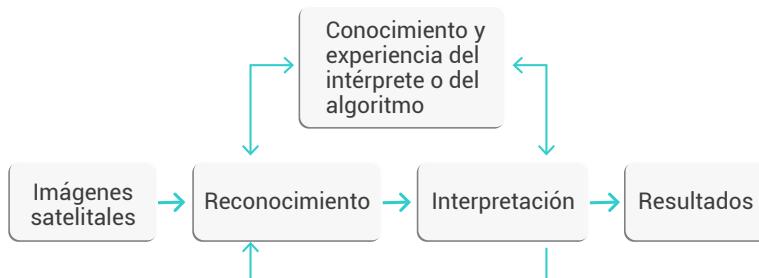
3.1.1. Análisis visual y automático

El procesamiento de imágenes implica una primera fase de correcciones, luego una fase de mejoras y finalmente una fase de extracción de información. El análisis se puede hacer tanto de forma visual como automatizada. El análisis visual se basa en la capacidad del ojo humano de discernir propiedades cualitativas de la imagen (tono, brillo, forma, etc.). Por otro lado, el análisis automático se fundamenta en las características

cuantitativas y/o estadísticas de las imágenes, con ayuda de algoritmos computarizados (figura 14).

Figura 14.

Esquema del proceso de análisis visual o automático



Nota. González, I., 2023.

3.2. Correcciones

Según Eastman (2016), las correcciones son procedimientos que nos permiten eliminar o reducir anomalías en la localización o valores de los **niveles digitales** de las imágenes. Estas anomalías o errores se pueden agrupar en:

- Distorsiones originadas por la plataforma.
- Distorsiones provocadas por la rotación terrestre.
- Distorsiones generadas por el sensor.
- Distorsiones provocadas por las condiciones ambientales, principalmente el efecto de la **atmósfera** y del relieve.

3.2.1. Correcciones geométricas

La georreferenciación o rectificación consiste en ajustar la geometría de una imagen satelital con base en otro archivo cartográfico de referencia. A partir de puntos de control (en el terreno o en otra imagen con **coordenadas** conocidas), se interpola la posición y los valores de la imagen que se requiere rectificar (figura 15).

Figura 15.

Puntos de coordenadas conocidas que sirven para asignar el sistema de referencia a la imagen



◆ Puntos de control en terreno

Nota. Imagen Sentinel-2 de la zona urbana de Ibarra (EO Browser, 2023).

Por otro lado, la **ortorrectificación** utiliza información precisa del sensor, parámetros orbitales, puntos de control del terreno y **elevación** para alinear con precisión la imagen con un modelo de superficie o datum.

3.2.2. Correcciones radiométricas

La **reflectancia** a una longitud de **onda** dada de un objeto medida por un instrumento de detección remota varía en respuesta a varios factores, incluida la iluminación del objeto, su reflectividad y la transmisividad de la atmósfera. Además, la respuesta de un sensor dado puede degradarse con el tiempo (figura 16). Teniendo en cuenta estos factores, un objeto escaneado en diferentes momentos del día o del año puede presentar diferentes características radiométricas. Estas diferencias pueden plantear problemas para los analistas de imágenes que desean crear un mosaico, uniendo imágenes vecinas juntas, o para detectar cambios significativos en el uso y cobertura del suelo a lo largo del tiempo.

Figura 16.

Efecto de bandeados por fallo en el sistema de escaneo y presencia de nubes en una escena Landsat 7

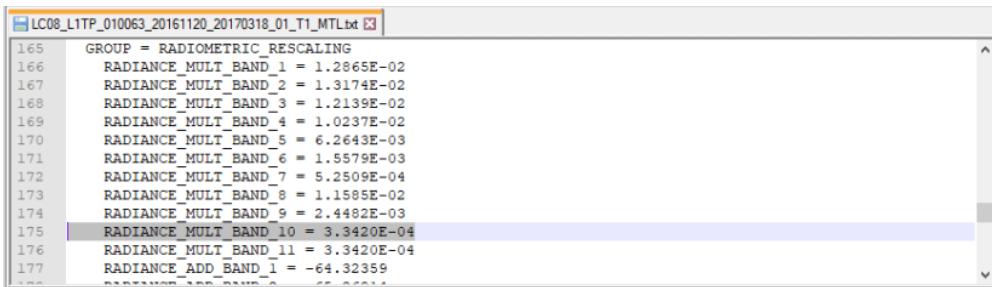


Nota. Escena Landsat 7 con presencia de nubes y bandeados debido al daño del dispositivo de escaneo (EO Browser, 2023)

Para hacer frente a estos problemas, se han desarrollado numerosas técnicas de corrección radiométrica, incluidas las correcciones de la distancia Tierra-sol, las correcciones de la elevación del sol y las correcciones de la bruma atmosférica. Para hacer las correcciones, es fundamental conocer los metadatos de la imagen que incluyen la ubicación, la fecha y la hora en que se capturó una escena en particular. En la figura 17 puede observar los metadatos de una imagen Landsat 8, los valores de `radiance_mult` y `radiance_add` sirven para calibrar a radiancia cada banda.

Figura 17.

Parámetros de calibración de una imagen que constan en el archivo de metadatos



The screenshot shows a text editor window with the title "LC08_L1TP_010063_20161120_20170318_01_T1_MTL.txt". The content displays a series of parameter assignments, each preceded by a line number from 165 to 177. The parameters are grouped under "GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING". The last parameter listed is "RADIANC...MULT_BAND_10 = 3.3420E-04", which is highlighted with a light blue background. The code uses scientific notation for values like 1.2865E-02 and 3.3420E-04.

```
165 GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
166 RADIANC...MULT_BAND_1 = 1.2865E-02
167 RADIANC...MULT_BAND_2 = 1.3174E-02
168 RADIANC...MULT_BAND_3 = 1.2135E-02
169 RADIANC...MULT_BAND_4 = 1.0237E-02
170 RADIANC...MULT_BAND_5 = 6.2643E-03
171 RADIANC...MULT_BAND_6 = 1.5575E-03
172 RADIANC...MULT_BAND_7 = 5.2509E-04
173 RADIANC...MULT_BAND_8 = 1.1585E-02
174 RADIANC...MULT_BAND_9 = 2.4482E-03
175 RADIANC...MULT_BAND_10 = 3.3420E-04
176 RADIANC...MULT_BAND_11 = 3.3420E-04
177 RADIANC...ADD_BAND_1 = -64.32359
```

Nota. Ejemplo de metadatos de una escena Landsat 8 (Earth Explorer, 2023).



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

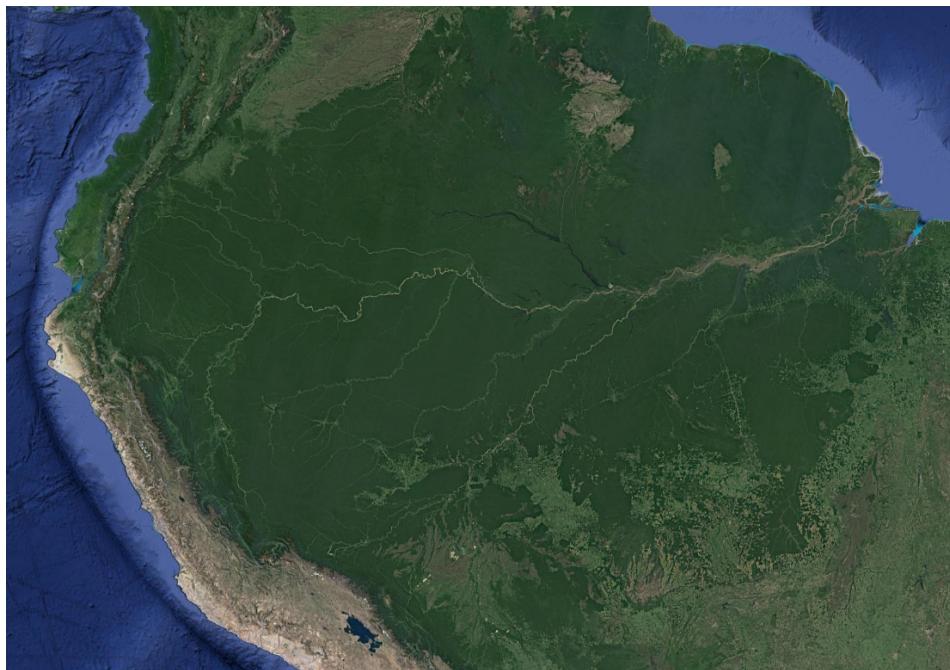
Actividad 1:

Observe la siguiente imagen de Google Satellite de parte de América del Sur. Puede utilizar referencias adicionales como mapas topográficos, geológicos, de suelos o de ordenación del territorio para orientarse mejor. La imagen está representada en color verdadero. ¿Puede reconocer zonas de asentamientos humanos, cuerpos de agua y tipos de vegetación? ¿Puede reconocer otros elementos característicos de la geografía de nuestro continente?

Una vez que haya reconocido algunos elementos o paisajes, anote el color, textura, forma y patrón que tienen estos objetos. Podrá notar que muchas de estas características y su conocimiento previo, le ayudarán a interpretar la imagen satelital e identificar los elementos.

Figura 18.

Vista parcial de América del Sur de Google Satellite



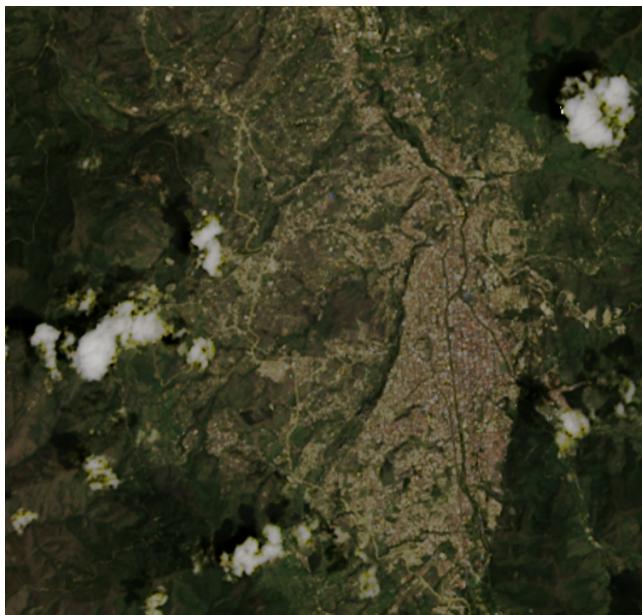
Nota. Vista parcial de América del Sur (Google Maps, 2023).

Actividad 2:

Observe la siguiente imagen. Reflexione qué tipo de mejora requiere. Investigue en la web y elabore un diagrama de flujo sobre los procedimientos disponibles para solucionar la [presencia de nubes](#) y sus sombras en imágenes satelitales. Otro procedimiento sobre el que puede investigar es la [eliminación de bruma atmosférica](#).

Figura 19.

Vista satelital de la zona urbana de Loja



Nota. Escena Sentinel-2 en color natural de la ciudad de Loja. Las nubes se muestran en color blanco (EO Browser, 2023).

Actividad 3:

En QGIS existe un *plugin* denominado Georreferenciador GDAL. Con esta herramienta podemos asignar fácilmente las coordenadas y el sistema de referencia a una imagen. Revise el videotutorial?, del minuto 11:10 al 22:22, para conocer cómo realizar la georreferenciación de una imagen. Se recomienda practicar este proceso al georreferenciar algunas cartas topográficas escaneadas disponibles en el [geoportal del Instituto Geográfico Militar](#).

Actividad 4:

Instale en QGIS la caja de herramientas OrfeoToolBox (OTB) en QGIS. Dentro de las múltiples funciones de procesamiento de imágenes, podrá encontrar la de Ortorectificación. En la página Orfeo Toolbox (OTB) para análisis de teledetección en QGIS el tutorial [Orfeo Toolbox \(OTB\) para análisis de teledetección en QGIS](#), dispone de las instrucciones para su instalación y posteriormente puede realizar una búsqueda en YouTube para conocer cómo realizar el procedimiento de ortorectificación con OTB.

Actividad 5:

Se recomienda que lea el recurso [Todo lo que deberías saber sobre imágenes Sentinel 2](#), para que analice los niveles de procesamiento de los productos Sentinel-2. Es importante conocer cómo se realizan los procesos de corrección. Sin embargo, se debe aclarar que muchos productos satelitales que están disponibles para la descarga ya cuentan con un nivel de procesamiento previo. Es decir, ya han sido corregidas geométrica y/o radiométricamente. Con la lectura del recurso sugerido comprenderá los diferentes niveles de procesamiento de las imágenes disponibles para la descarga de la misión Sentinel-2.

Nota. Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o documento word.



Semana 6

3.3. Mejoras de una imagen

Una vez aplicadas las correcciones geométricas y radiométricas, se puede hacer una serie de mejoras a una imagen con la finalidad de facilitar su análisis. Estas operaciones pueden ser locales (a nivel de píxel), focales (aplicando filtros), o de fusión de imágenes. Las operaciones a nivel de píxel pueden ser: segmentación, expansión de contraste, modificación de brillo y contraste o ecualización. Comúnmente se aplican dos tipos de operaciones de filtro, las que buscan suavizar una imagen desenfocándola para eliminar ruido o pequeños detalles de la imagen, y los filtros de realce que justamente buscan resaltar los detalles de una imagen. Adicionalmente, un tercer filtro es el de detección de bordes, que identifican y resaltan zonas con cambios bruscos de intensidad. Finalmente, se puede aplicar fusión de imágenes para combinar en una sola imagen al menos dos imágenes con bondades diferentes.

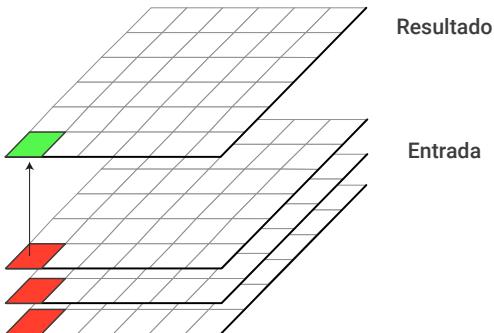
3.3.1. Operaciones píxel a píxel



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva del capítulo [Operaciones pixel a pixel](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de los principales procedimientos de este tipo.

Seguidamente, le invito a leer los ejemplos planteados para facilitar su comprensión sobre las operaciones píxel a píxel. Este tipo de operaciones se basa en funciones locales. Las funciones locales afectan a cada píxel de forma individual. Es decir, después de aplicar una operación local, el valor de cada píxel en la capa resultante depende únicamente del valor del mismo píxel en la(s) capa(s) de entrada (figura 20).

Figura 20.
Representación de una función local



Nota. Tomado de Olaya (2020).

En la figura 21 se muestra un ejemplo de función local. Como se puede observar, la capa original se multiplica por 10. En la capa resultante, vemos que la operación (multiplicación por 10) afecta a cada celda (píxel) de forma individual.

Figura 21.
Ejemplo de función local

Capa original					Capa resultante			
14	2	4	6	X 10 =	140	20	40	60
5	4	8	10		50	40	80	100
3	6	9	5		30	60	90	50
7	9	17	2		70	90	170	20

Nota. González, I., 2023.

Las principales operaciones píxel a píxel son:

- **Segmentación.** Consiste en reclasificar la imagen para obtener regiones homogéneas. El umbral de reclasificación se puede determinar a partir del estudio del histograma de la imagen.
- **Expansión de contraste.** Este método consiste en “estirar” los valores de la imagen para que estén representados por todos los niveles de gris (0-255). Esto da como resultado una imagen con mayor definición visual.
- **Modificación de brillo y contraste.** En este procedimiento se modifican dos propiedades. El brillo para aumentar la luminosidad total de la imagen y el contraste, para ajustar la diferencia entre los colores más claros y los más oscuros.
- **Ecualización.** Es una técnica para mejorar el contraste de la imagen, redistribuyendo de forma uniforme los valores del histograma.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Actividad 1:

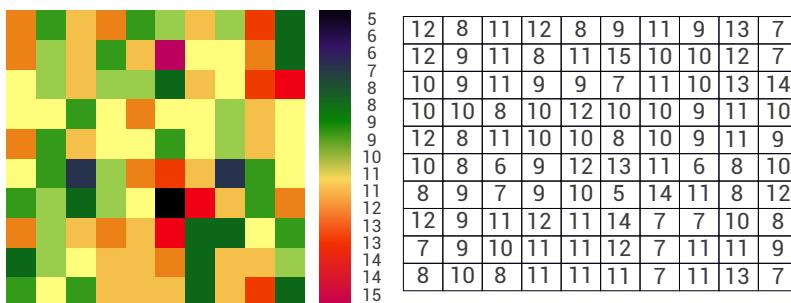
La semana anterior se recomendó la instalación del paquete OTB. En el videotutorial [Segmentation in QGIS with Orfeo Toolbox](#), puede seguir el procedimiento para realizar la segmentación de una imagen. Realizando este ejercicio le quedarán más claros los aspectos teóricos. La segmentación de imágenes es un procedimiento crucial para la mayoría de las tareas de detección de objetos, reconocimiento de imágenes, extracción de características y clasificación, que dependen de la calidad del proceso de segmentación. La segmentación de imágenes consiste en dividir una imagen específica en un número de segmentos homogéneos; por lo tanto, la representación de una imagen en formas simples y sencillas aumenta la eficacia del reconocimiento de patrones. La eficacia de los enfoques varía en función de las condiciones de disposición de los objetos, la iluminación, las sombras y otros factores (Abdulateef y Salman, 2021).

Actividad 2:

Para comprender las operaciones revisadas esta semana, es necesario comprender qué es el histograma de la imagen. En la siguiente figura se muestra una imagen ráster. Recuerde que los ráster son matrices donde cada celda tiene un valor. Es decir, cada color corresponde a un valor.

Figura 22.

Representación de una capa ráster



A la izquierda se observa los valores del ráster representados por colores. A la derecha, se muestra el mismo ráster pero indicando el valor numérico que corresponde a cada color.

Nota. González, I., 2023.

El histograma de la imagen es la representación, mediante una gráfica de barras, de las frecuencias de los valores que aparecen en la imagen. En la siguiente figura se muestra cómo se construye un histograma. Por ejemplo, en la matriz el valor mínimo es 5 y aparece una sola vez, por eso su frecuencia es 1, tal como consta en la tabla y en la gráfica. Luego se sigue registrando en orden todos los valores (en este caso del 5 al 15) con su respectiva frecuencia (número de veces que aparece el dato).

Figura 23.

Tabulación de los valores del ráster para generar un histograma de frecuencias



Nota. González, I., 2023.

Teniendo la siguiente matriz de una imagen ráster, grafique su histograma y tabla de frecuencias, basándose en las indicaciones del ejemplo anterior.

Figura 24.

Ejemplo de ráster

16	17	14	16	18	15	16	16	16	15
15	18	13	14	15	11	16	18	13	16
13	15	18	15	15	17	14	13	15	12
14	18	17	15	14	15	14	16	15	14
13	18	12	19	13	17	15	14	12	16
16	15	17	13	17	14	14	15	14	14
12	13	16	12	13	18	15	16	15	17
14	15	18	15	14	16	18	16	15	18
13	16	17	15	14	16	15	15	14	15
13	18	14	17	14	12	14	18	14	16

Nota. González, I., 2023.

Nota. Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o documento word.



Semana 7



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva de los capítulos [Filtros y Fusión de imágenes](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de estos métodos de mejora de imágenes.

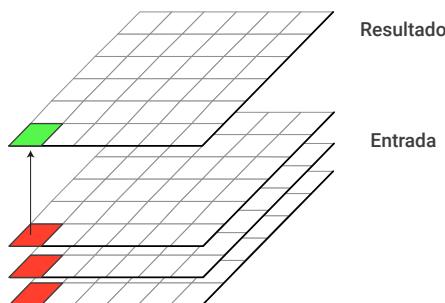
La aplicación de filtros o la fusión de imágenes son métodos interesantes, que nos permiten derivar información adicional que, a su vez, nos puede servir para mejorar los resultados de la clasificación de imágenes. Para que comprenda más fácilmente los métodos planteados en la lectura de la semana, le sugiero que revise las siguientes explicaciones y ejemplos.

3.3.2. Filtros

A diferencia de las operaciones píxel a píxel, los filtros se fundamentan en operaciones focales (figura 25). Es decir, el valor en cada celda de la capa resultante es función del valor en dicha celda y en las situadas en un entorno (vecindad) definido alrededor de la misma (Olaya, 2014).

Figura 25.

Representación de una función focal



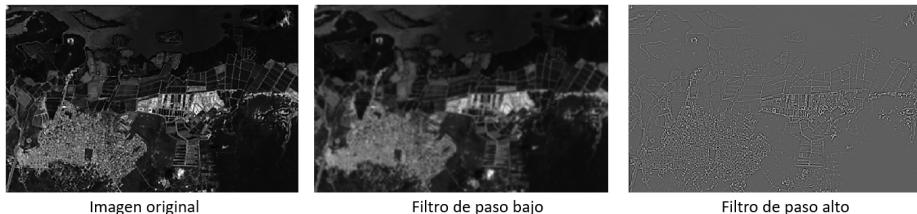
Nota. Tomado de Olaya (2020).

Los filtros de paso bajo producen un efecto de suavizado en la imagen, ya que reducen la variación local. Se utilizan para eliminar ruidos u homogeneizar una imagen. Los más comunes son los filtros de media, mediana y moda.

Los filtros de paso alto retienen las frecuencias altas y reducen las bajas. Con esto acentúan la variación entre un píxel y sus vecinos. Se emplean sobre todo para destacar elementos lineales. Un caso especial son los filtros de detección de bordes. Entre los más conocidos están los filtros laplacianos y sobel. Observe en la figura 26 la diferencia de aplicar filtros de paso bajo y paso alto en una misma imagen.

Figura 26.

Aplicación de filtros sobre una imagen satelital



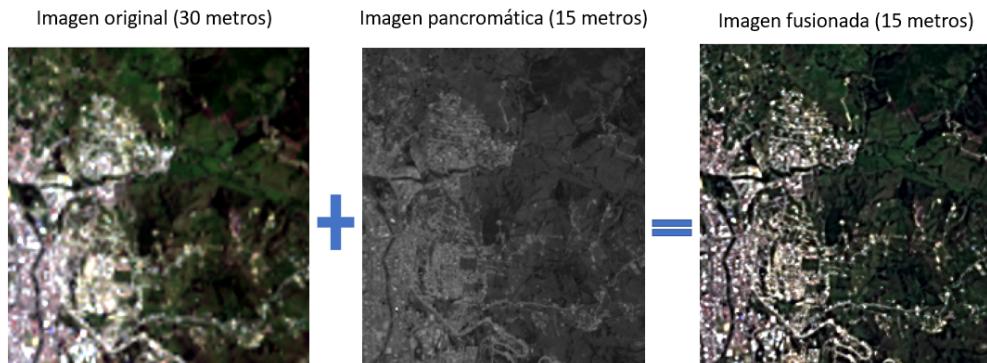
Nota. González, I., 2023.

3.3.3. Fusión de imágenes

El objetivo de este procedimiento es obtener un producto de alta resolución espectral y espacial, a través de la fusión o integración de una banda pancromática (mejor resolución espacial) con una imagen multiespectral (mejor resolución espectral) (figura 27). Los métodos de fusión más empleados son el IHS y transformación Brovey. En los programas SIG este proceso se conoce como pansharpening. Es muy frecuente el refinado de imágenes Landsat, pues recordemos que este producto dispone de una banda pancromática.

Figura 27.

Ejemplo de la fusión de imágenes



Nota. González, I., 2023.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Con las herramientas incorporadas en los programas para el análisis de imágenes, las operaciones de filtros son muy sencillas de realizar. Sin embargo, es importante comprender la lógica detrás de su funcionamiento. En la siguiente imagen se indica un filtro de 3x3, es decir el píxel central tiene 8 píxeles vecinos circundantes. En la vecindad todos los píxeles tienen el mismo peso (1). Al aplicar el filtro en la capa original, se calcula el promedio de la vecindad y ese será el nuevo valor del píxel en la capa filtrada. En el ejemplo, la celda de valor 4 tiene un nuevo valor de 6.1, el cual resulta de la siguiente operación: $(14+2+4+5+4+8+3+6+9)/9$.

Figura 28.

Ejemplo del funcionamiento de una función focal

Filtro 3x3			Capa original	Capa filtrada
1	1	1	14 2 4 6	6.3 6.2 5.7 7.0
1	1	1	5 4 8 10	5.7 6.1 6.0 7.0
1	1	1	3 6 9 5	5.7 7.6 7.8 8.5
7	9	17	2	6.3 8.5 8.0 8.3

Nota. González, I., 2023.

En este ejercicio se ha aplicado un filtro de media o de paso bajo, con lo cual los valores de la imagen se suavizan. Ahora, aplique el siguiente filtro a la misma capa original. Una vez que obtenga el resultado de la capa filtrada, reflexione sobre las diferencias con el filtro anterior.

Figura 29.

Ejemplo de filtro de paso alto

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Nota. González, I., 2023.

Nota. Conteste la actividad en un cuaderno de apuntes o documento word

Actividad 2:

Observe el vídeo [GEOG 883 Spatial Enhancement of Imagery Using Filters](#), acerca de la aplicación de filtros y su utilidad, para reforzar lo aprendido en la guía didáctica y en la lectura del capítulo correspondiente de Olaya (2020). Entre otras cosas, podrá analizar que los filtros de paso alto sirven para realzar características mientras que los filtros de paso bajo para suavizarlas.

Actividad 3:

Revise este videotutorial [Pansharpening](#), en el cual observará un ejercicio muy sencillo de fusión o pansharpening. El paquete OTB dispone de herramientas para realizar la fusión de imágenes. Sin embargo, con las herramientas básicas de QGIS también es posible realizar este

procedimiento. Descargue bandas Landsat para una zona de interés con ayuda de EO Browser y replique esta práctica.

Actividad 4:

Revise nuevamente los contenidos de las semanas 5, 6 y 7. Luego, compruebe el aprendizaje alcanzado sobre la unidad 3, realizando la siguiente autoevaluación. En las preguntas planteadas, seleccione la respuesta correcta.



Autoevaluación 3

1. Cuando una imagen es utilizada para identificar si una carretera es asfaltada, estamos utilizándola para un proceso de:
 - a. Representación.
 - b. Identificación de elementos.
 - c. Identificación de característica.
2. La corrección de una imagen consiste en:
 - a. Modificaciones para mejorar la imagen.
 - b. Disminuir errores, ruido o distorsiones.
 - c. Interpretación de la imagen.
3. Una digitalización directa de un bosque en pantalla es un:
 - a. Análisis visual.
 - b. Análisis automático.
 - c. Los dos.
 - d. Ninguno.
4. ¿Cuál de los siguientes tipos de análisis requiere conocimientos más sencillos e intuitivos?
 - a. Análisis visual.
 - b. Análisis automático.
 - c. Los dos.
 - d. Ninguno.
5. ¿Cuál análisis se basa especialmente en los valores de reflectancia de los píxeles?
 - a. Análisis visual.
 - b. Análisis automático.
 - c. Los dos.
 - d. Ninguno.

6. Las correcciones geométricas corrigen:
 - a. Distorsiones de forma.
 - b. Valores mal asignados a algunos píxeles.
 - c. Modificación del tamaño de la imagen.
7. Las variaciones en la velocidad y altura de la plataforma de registro, es un factor que genera un error:
 - a. Geométrico.
 - b. Radiométrico.
 - c. De almacenamiento.
8. La diferencia entre rectificación y ortorrectificación es que:
 - a. Mientras la rectificación modifica el valor del píxel, la ortorrectificación corrige distorsiones geométricas.
 - b. La rectificación corrige la posición mediante una transformación plana, mientras que la ortorrectificación corrige tomando en cuenta la elevación.
 - c. La ortorrectificación no corrige errores geométricos, mientras que la rectificación sí lo hace.
9. ¿Qué tipo de correcciones se aplican para valores erróneamente registrados o ruido presente en la imagen?
 - a. Geométricas.
 - b. Radiométricas.
 - c. De posición.
10. ¿Cómo se pueden corregir los errores de píxeles aislados debidos a los sensores?
 - a. Empleo de filtros.
 - b. Aplicar una transformación en función del sombreado.
 - c. No se puede porque la corrección es muy compleja.

11. () La operación que genera un efecto de normalización de la imagen en un rango de 0 a 255, con lo que se logra que exista más contraste entre los diferentes objetos en el territorio, es la expansión de contraste.
12. () La operación que es un proceso no linear que busca destacar el brillo de una imagen, generando un histograma recto, a partir de una imagen que antes tenía un histograma sigmoide, es la segmentación.
13. () Los filtros de suavizado restan definición a la imagen.
14. () Los filtros de realce aumentan definición a la imagen.
15. () La fusión logra crear imágenes sintéticas combinando las imágenes a través de una multiplicación.

[Ir al solucionario](#)



Actividades finales del bimestre



Semana 8



Estimado/as estudiantes, hemos culminado el primer bimestre. ¡Felicitaciones! Espero que los temas revisados hayan sido de su interés. Esta semana está destinada a la revisión y estudio de los contenidos del primer bimestre. Por lo tanto, se recomienda realizar las siguientes actividades:



Actividades de aprendizaje recomendadas

Actividad 1: realice una sistematización de los contenidos del primer bimestre.

Recuerde que los contenidos de la asignatura están explicados en la guía didáctica, pero que se deben reforzar y profundizar con las lecturas obligatorias. Revise la tabla 4 para recapitular los temas estudiados durante el primer bimestre.

Tabla 4.*Resumen de contenidos del primer bimestre*

Unidad	Tema	Material de lectura
Unidad 1. Fundamentos de teledetección	1.1 Concepto e historia 1.2 Procesos físicos 1.3 Características orbitales de los satélites 1.4 Tipos de resolución	páginas 9 a 16 de Labrador García et al. (2012) García et al. (2012) páginas 16 a 20 de Labrador García et al. (2012)
Unidad 2. Satélites de teledetección	2.1 Tipos de sensores e imágenes 2.2 Productos satelitales 2.2.1 El programa Landsat	página 21 de Labrador García et al. (2012) páginas 24-53 de Labrador García et al. (2012)
Unidad 3. Procesamiento de imágenes	3.1 Introducción al procesamiento de imágenes 3.2 Correcciones 3.2.1 Correcciones geométricas 3.2.2 Correcciones radiométricas 3.3 Mejoras de una imagen 3.3.1 Operaciones píxel a píxel 3.3.2 Filtros 3.3.3 Fusión de imágenes	capítulo Introducción al procesamiento de Olaya (2020) capítulo Correcciones y preparación de imágenes de Olaya (2020) capítulo Operaciones píxel a píxel de Olaya (2020) capítulo Filtros de Olaya (2020) capítulo Fusión de imágenes de Olaya (2020)

Nota. González, I., 2023.

Actividad 2: aplique diferentes técnicas de estudio

- Estudiar las unidades del primer bimestre de la guía didáctica, aplicando técnicas de estudio como mapas conceptuales, resúmenes y esquemas.
- Realizar una lectura comprensiva de las lecturas obligatorias en los temas que corresponda, subrayando o resaltando ideas principales y consultando el significado de términos nuevos.
- Revisar las actividades calificadas y autoevaluaciones para reforzar su comprensión sobre los temas.

Nota. Conteste la actividad en un cuaderno de apuntes o documento Word.

Actividad 3: participe de la evaluación presencial

La evaluación presencial es parte de las actividades de aprendizaje autónomo y se rinde al finalizar el bimestre. Revise el calendario académico para estar al tanto de la fecha propuesta por la Universidad para realizar la evaluación. Las preguntas son de opción múltiple con una sola respuesta correcta. Recuerde: la evaluación presencial es una actividad formativa y sumativa que evalúa la adquisición de resultados de aprendizaje que contribuyen al desarrollo de las competencias de la carrera.



Segundo bimestre

Resultado de aprendizaje 3

- Interpreta visual y digitalmente imágenes.

Conocer los procesos de procesamiento de imágenes es necesario pueda alcanzar el resultado de aprendizaje relacionado a interpretar correctamente, tanto de forma visual como digital, las imágenes satelitales. Se revisarán los aspectos teóricos y prácticos de estos procedimientos a través de las actividades recomendadas y evaluadas que permiten alcanzar el resultado de aprendizaje relacionado.

Contenidos, recursos y actividades de aprendizaje

Estimado/as estudiantes, durante las semanas restantes de este segundo bimestre abordaremos el procesamiento de imágenes, específicamente las correcciones y mejoras que se pueden realizar previo al análisis de las imágenes. Tome en cuenta que los satélites son plataformas que se encuentran en el espacio y la forma de nuestro planeta es irregular. Estas condiciones generan interferencias al captar la información, por lo tanto, las imágenes requieren de un preprocesamiento antes de ser analizadas.



Semana 9

3.4. Análisis y extracción de información



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva de los capítulos [Visualización](#) y [Operaciones morfológicas](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de la exploración visual y morfológica de las imágenes satelitales.

Las imágenes pueden ser utilizadas después de las diferentes correcciones y aplicación de filtros que se vieron en las semanas anteriores, pero en algunas ocasiones, se pueden aplicar procesos algebraicos en bandas para lograr facilitar la identificación de ciertas características del área de estudio, entre ellas el uso del suelo, las zonas de mayor humedad y

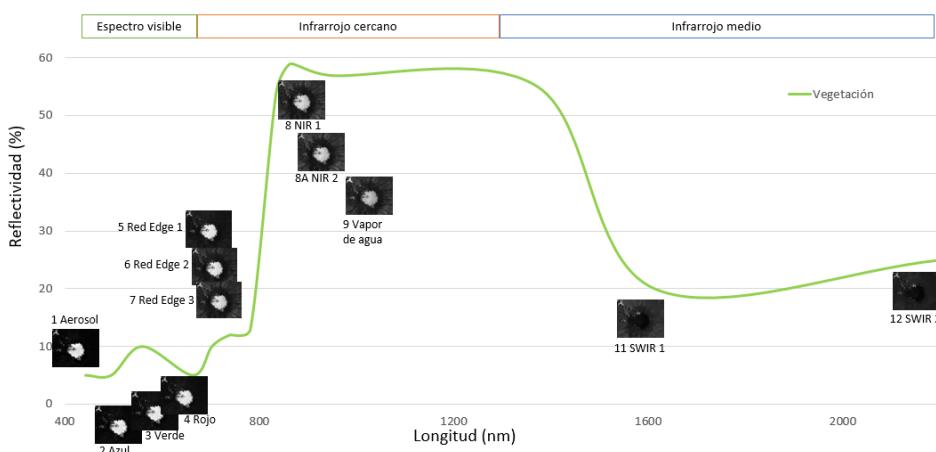
las construcciones, entre otras. Le recomiendo revisar las siguientes explicaciones y ejemplos acerca de la visualización de la información, algunas operaciones morfológicas para modificar los elementos de una imagen y hacerlos más útiles para otros procesos, así como la estimación de parámetros físicos a partir de la información a nivel de píxeles de las imágenes, tales como parámetros de vegetación, de suelo y de agua.

3.4.1. Visualización

Como habíamos estudiado anteriormente, los sensores de teledetección miden ciertos rangos de longitud de onda de la energía electromagnética. Estos rangos se conocen como **bandas**. En la figura 30 se indica las bandas de Sentinel-2. Observe que cada banda corresponde a una porción del espectro electromagnético. Por ejemplo, el espectro visible (bandas roja, verde y azul) está aproximadamente entre los 400 a 700 nanómetros (nm). Además, cada una de las bandas se despliega en escala de grises. En el esquema se representa la **reflectividad** de la vegetación sana en cada banda del espectro electromagnético. Recordemos que la reflectividad nos permite medir la energía reflejada por un objeto, la cual es de interés porque es la energía que registran los sensores de teledetección.

Figura 30.

Representación de la longitud de onda de las bandas Sentinel-2



El sensor multiespectral de Sentinel-2 mide las regiones del espectro visible, infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo de onda corta o infrarrojo medio (SWIR). La línea verde corresponde a la respuesta espectral de la vegetación.

Nota. González, I., 2023.

Para poder visualizar estas bandas a colores, es necesario combinar 3 bandas formando lo que se conoce como composición a colores. Las pantallas a través de las cuales visualizamos las imágenes utilizan los tres cañones de colores primarios: rojo (*Red*), verde (*Green*) y azul (*Blue*). Cuando asignamos las bandas del espectro visible a sus respectivos cañones, obtenemos una composición en color verdadero. Por ejemplo, en la figura 31 se observa la cima del Cotopaxi con la vegetación en verde, el suelo desnudo en gris y la nieve y nubes en blanco. Es decir, la visualización en color verdadero corresponde a lo que observaría normalmente el ojo humano.

Figura 31.

Composición en color verdadero o natural



Para el ejemplo se utiliza la denominación de las bandas Sentinel-2

Nota. González, I., 2023.

Continuando con el ejemplo anterior, si es que asignamos otras bandas y en diferente orden a los cañones de colores primarios, obtenemos composiciones en falso color. Estas son útiles para destacar o diferenciar elementos que no se aprecian en color natural. En la composición en color verdadero (figura 31), se aprecian tanto las nubes como la nieve en color blanco. Para diferenciar estos elementos se puede aprovechar las características de reflectividad de la nieve (alta reflectividad en el espectro visible, baja reflectividad en el infrarrojo cercano y muy baja reflectividad en el infrarrojo de onda corta).

Por ejemplo, en la figura 30 observamos el resultado de combinar las bandas SWIR (11), NIR (8) y Verde (3) de Sentinel-2. Esta composición es útil para distinguir las nubes de la nieve, por las características de reflectividad de la nieve antes mencionadas y se denominaría RGB1183, ya que la banda 11 se ha introducido en el canal rojo (R), la 8 en el canal verde (G) y la 3 en el canal azul (B). En la composición en falso color (figura 32), las nubes se siguen observando en color blanco, pero la nieve aparece en color cyan (celeste brillante).

Figura 32.
Composición en falso color



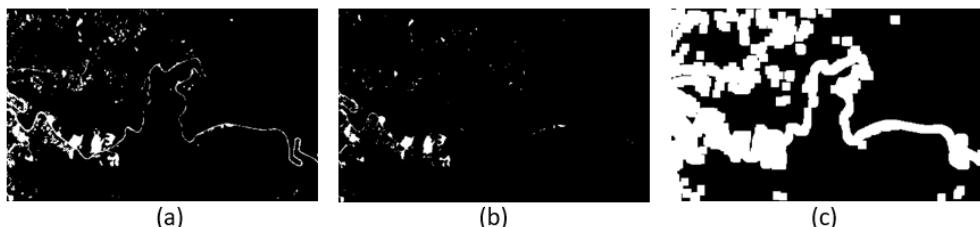
Para el ejemplo se utiliza la denominación de las bandas Sentinel-2
Nota. González, I., 2023.

3.4.2. Operaciones morfológicas

Dos de las transformaciones básicas en la morfología matemática son la **dilatación** y la **erosión**. En la primera de estas, un objeto crece uniformemente en su extensión espacial, mientras que en la segunda el objeto reduce su extensión espacial uniformemente (Lira, 2010). En la figura 33, podemos observar el resultado de estas operaciones en una imagen binaria. En el ejemplo, la imagen binaria representa un sector de Loja, donde el valor de 1 corresponde a zonas construidas y 0 a zonas no construidas.

Figura 33.

Resultados de aplicar operaciones morfológicas a una imagen binaria

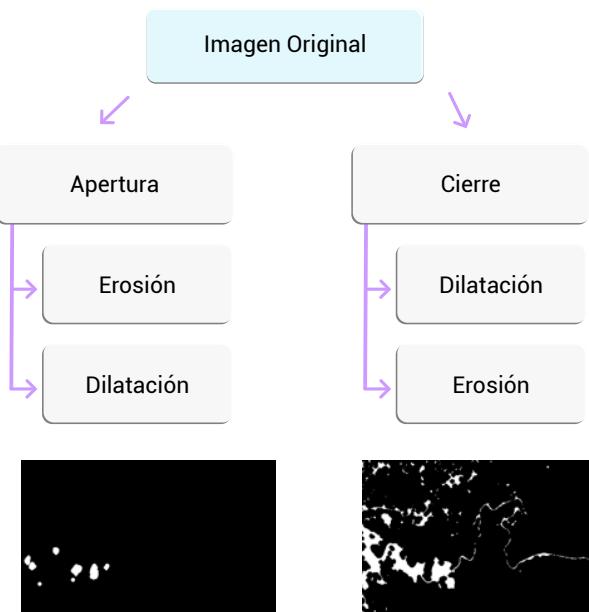


(a) es la imagen binaria original, (b) es la imagen erosionada y (c) la imagen dilatada
Nota. González, I., 2023.

También es posible aplicar las operaciones de dilatación y erosión secuencialmente, resultando otras operaciones como la apertura, cierre y esqueletización. En la figura 34 se indica el orden de aplicación de estas operaciones.

Figura 34.

Operaciones morfológicas de apertura y cierre



Nota. González, I., 2023.

Las operaciones morfológicas se aplican principalmente para extraer objetos de una imagen, llenar agujeros, suavizar contornos y detectar bordes. Un caso de aplicación podría ser la delimitación y extracción de

piscinas camaronesas, que son objetos con bordes definidos y fácilmente identificables con este tipo de técnicas.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Observe el vídeo [Student Choice - Getting a Better Understanding about Multi-Band Image Display](#), para reforzar su comprensión sobre los principios de la [composición en falso color](#). Una vez que haya comprendido el tema, revise la página [GIS&Beers](#), en donde se muestran las combinaciones de bandas más utilizadas para [Landsat-8](#) y [Sentinel-2](#). Descargue bandas de una zona de su interés y genere sus propias composiciones en QGIS, creando un [ráster virtual](#) como se indica en el tutorial.

Actividad 2:

Estimado estudiante, le invito a participar de la siguiente infografía donde podrá analizar sus conocimientos sobre la interpretación visual de imágenes satelitales.

[Interpretación visual de imágenes satelitales.](#)

¿Pudo reconocer los elementos? Al girar las tarjetas pudo comprobar si su interpretación visual fue acertada. Además, con este recurso pudo corroborar la utilidad de las composiciones en falso color para destacar ciertos elementos, lo cual facilita su identificación.

Actividad 3:

Observe el vídeo [Dilation and Erosion, Opening and Closing : Image morphology](#), con una explicación más detallada sobre las [operaciones morfológicas](#), fíjese en los ejemplos para asimilar cómo estas operaciones modifican la estructura de una imagen. Pruebe en QGIS las herramientas de los proveedores OTB y SAGA, que se encuentran bajo la denominación de filtros morfológicos.



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva del capítulo [Estimación de parámetros físicos](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de la información que se puede obtener a través del cálculo de índices espectrales.

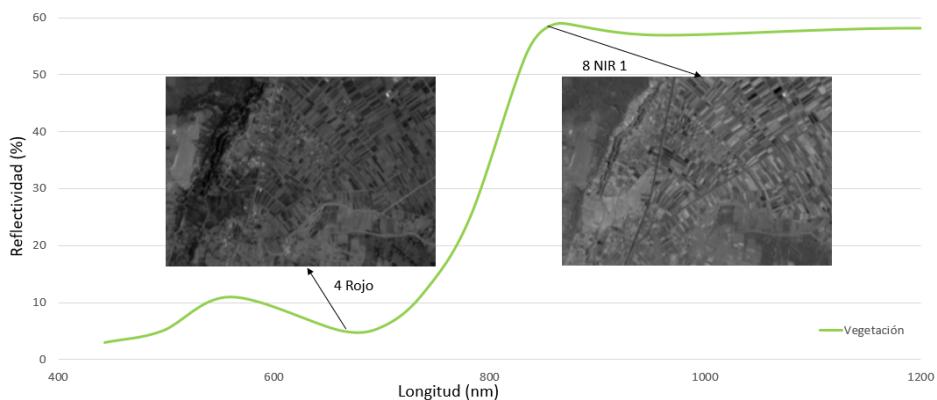
En los siguientes apartados le comarto algunas explicaciones y ejemplos adicionales para que refuerce su comprensión de la lectura de esta semana. Como podrá notar, la construcción de índices se basa en las propiedades espectrales de cada tipo de superficie (bosques, cultivos, cuerpos de agua, zonas construidas, etc.). El cálculo de índices es una de las aplicaciones más importantes de la teledetección, por eso le sugiero estudiar con mayor énfasis estos contenidos.

3.5. Estimación de parámetros físicos

Recordemos que las diferentes superficies (vegetación, suelo desnudo, nieve, infraestructura), tienen su forma característica de reflejar en cada una de las bandas del espectro electromagnético. Ese comportamiento se conoce como **firma espectral**. Por ejemplo, un rasgo distintivo de la firma espectral de la vegetación sana es que refleja fuertemente en la porción infrarroja cercana del espectro, mientras que absorbe fuertemente en el rojo visible (figura 35).

Figura 35.

Firma espectral de la vegetación

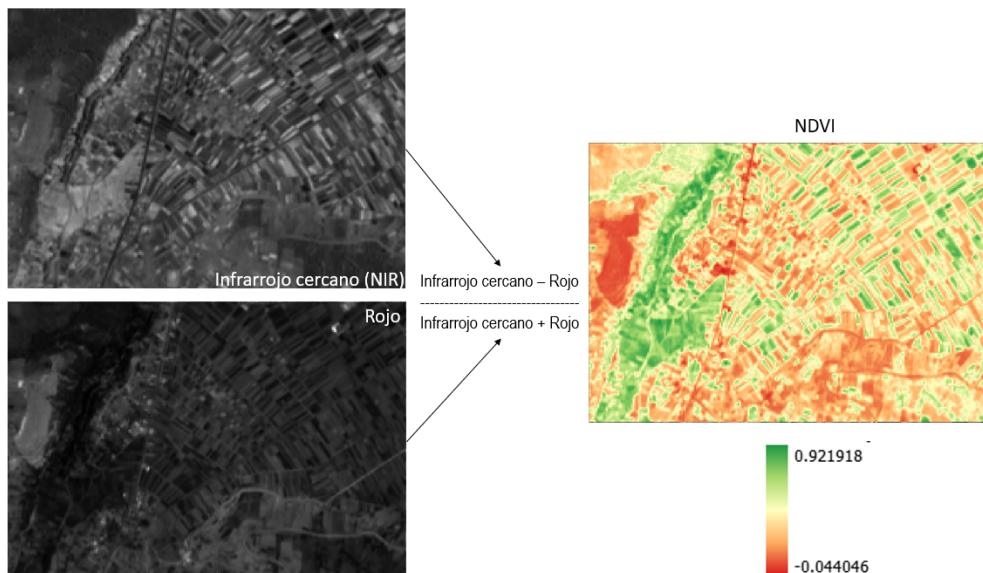


Para el ejemplo se utiliza la denominación de las bandas Sentinel-2. En las bandas, el gris más oscuro indica baja reflectividad y el gris más claro, alta reflectividad.

Nota. González, I., 2023.

La estimación de parámetros físicos implica transformar una imagen a través de operaciones aritméticas. La división de imágenes o ratio espectral es una de las transformaciones más comunes (Eastman, 2016). Para seleccionar las bandas que se van a relacionar se debe tomar en cuenta su firma espectral. Continuando con el ejemplo de la vegetación sana, lo más adecuado sería relacionar las bandas del rojo e Infrarrojo cercano. Una transformación de imagen es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), ampliamente utilizada para monitorear las condiciones de la vegetación. En la figura 36, se observa una zona de cultivos y los valores de NDVI, que varían de -1 a +1, siendo los valores más cercanos a +1 los que nos indican presencia de vegetación sana o vigorosa.

Figura 36.
Cálculo del NDVI



Nota. González, I., 2023.

Otras técnicas de transformación de imágenes se basan en el procesamiento estadístico de datos multibanda para reducir la redundancia de datos y la correlación entre bandas. Una de estas transformaciones se denomina análisis de componentes principales. El objetivo de esta técnica es reducir la dimensionalidad (es decir, el número de bandas) de los datos y comprimir toda la información de las bandas originales en menos bandas. Las “nuevas” bandas resultantes de este procedimiento estadístico se denominan componentes (Eastman, 2016).



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Observe el vídeo acerca de [índices espectrales y su cálculo con ayuda del software SNAP](#). SNAP es un programa gratuito desarrollado por la Agencia Espacial Europea, que dispone de herramientas específicas para

el tratamiento y análisis de imágenes satelitales. Para calcular índices adicionales puede basarse en el siguiente [listado de índices espectrales](#) para Sentinel-2 y Landsat-8.

Actividad 2:

Como habíamos mencionado, el NDVI es uno de los índices espectrales más ampliamente utilizados. Sin embargo, se debe tener presente que su aplicación tiene ventajas y limitaciones. Revise el artículo sobre la [Tendencia del NDVI en el período 2000-2014](#) y extraiga una lista de pros y contras al utilizar el NDVI para el monitoreo de la vegetación. Asimismo, revise el tutorial para el [cálculo y análisis del NDVI en QGIS](#). Puede replicar este ejercicio utilizando datos de una zona de interés.

Actividad 3:

Lea el artículo, para comprender los fundamentos estadísticos del [análisis de componentes principales](#). Ponga especial atención en los ejemplos para que visualice la utilidad de reducir las características de los datos quedándose con la información más importante. Finalmente, revise la metodología de la investigación acerca de la [aplicación conjunta de índices espectrales y análisis de componentes](#) principales en la exploración de la calidad ambiental.

Actividad 4:

Revise nuevamente los contenidos de las semanas 9 y 10. Luego, compruebe el aprendizaje alcanzado sobre la unidad 3, realizando la siguiente autoevaluación. En las preguntas planteadas, seleccione la respuesta correcta.



Autoevaluación 4

1. () Una composición en falso color es una técnica de transformación.
2. () Para que una composición en falso color ayude a destacar los elementos de interés se debe asignar las bandas en las que los elementos presentan un comportamientopectral característico en los canales RGB.
3. () Las operaciones morfológicas producen modificaciones en los objetos de una imagen.
4. () Las operaciones morfológicas se suelen aplicar sobre imágenes pancromáticas.
5. () Las operaciones morfológicas básicas son erosión y dilatación.
6. Una operación de cierre resulta de combinar:
 - a. Primero, erosión y luego dilatación.
 - b. Primero, dilatación y luego esqueletización.
 - c. Primero, erosión y luego esqueletización.
 - d. Primero, dilatación y luego erosión.
7. ¿Qué es un índice de vegetación?
 - a. La reflectancia de un objeto en una banda determinada.
 - b. Un parámetro calculado a partir de la reflectancia en diferentes bandas.
 - c. El resultado de clasificar una imagen multibanda.
8. ¿Qué bandas se utilizan para calcular el NDVI?
 - a. Rojo y verde.
 - b. Rojo e infrarrojo cercano.
 - c. Verde e infrarrojo cercano.
 - d. Azul y rojo.

9. Un índice espectral es una técnica de:
- Corrección.
 - Transformación.
 - Visualización.
10. El análisis de componentes principales se basa en:
- Aplicar operaciones lógicas focales, es decir con ayuda de filtros de convolución.
 - Utilizar la información estadística de las bandas para comprimir la información original.
 - Realizar operaciones aritméticas como radios o divisiones para obtener un índice simplificado.

[Ir al solucionario](#)



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva de los capítulos [Clasificación](#) y [Clasificación supervisada](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de los fundamentos de la clasificación de imágenes y el proceso de clasificación supervisada.

Seguidamente, encontrará explicaciones y ejemplos desarrollados para complementar la lectura de esta semana. Le recomiendo poner especial atención a estos apartados porque la clasificación de imágenes es uno de los principales objetivos de la teledetección. La clasificación nos permite crear mapas temáticos, los cuales son de mucho interés para diversos fines, como el monitoreo de cambios o la planificación del territorio.

Unidad 4. Clasificación de imágenes

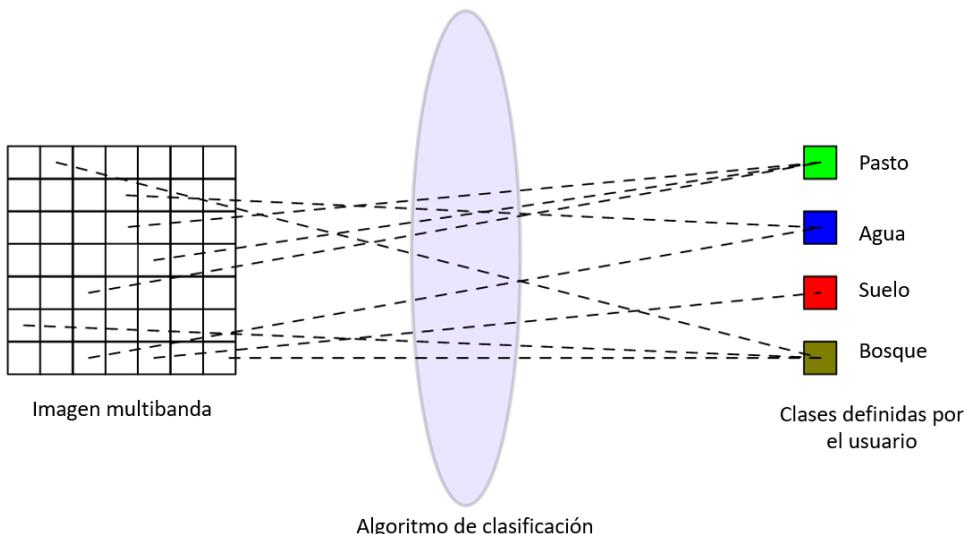
4.1. Fundamentos de clasificación

La clasificación es un proceso mediante el cual se ordena elementos en determinadas categorías. Por ejemplo, de acuerdo con sus características, los animales vertebrados se pueden clasificar en mamíferos, aves, peces, anfibios y peces. En el campo de la teledetección, la clasificación busca agrupar en categorías a los píxeles de una imagen con base en su información espectral.

Recordemos que las imágenes son matrices en las cuales cada píxel individual tiene un valor conocido como número digital en una o más bandas espectrales. El objetivo de la clasificación es asignar todos los píxeles de la imagen a determinadas clases o temas como agua, pastos, bosques, cultivos, etc. (figura 37). La imagen clasificada resultante se compone de un mosaico de píxeles, cada uno de los cuales pertenece a un tema concreto, obteniendo un mapa temático de la imagen original.

Figura 37.

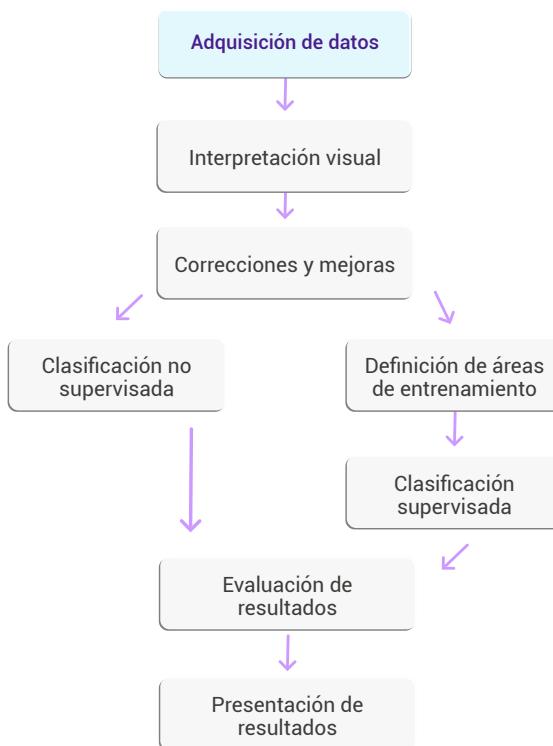
Esquema del proceso de asignación de píxeles a categorías



Nota. Adaptado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fb/Classification_Schema.svg.

Al clasificar imágenes se debe distinguir entre clases informacionales y clases espectrales. Las **clases informacionales** son las categorías que se intenta identificar en las imágenes, como diferentes usos, coberturas, unidades geológicas, etc. Las **clases espectrales** son grupos de píxeles que presentan valores homogéneos de brillo en las diferentes bandas espectrales. Sin embargo, se debe considerar que las clases espectrales no siempre son homogéneas. Por ejemplo, una zona de cultivos puede presentar varias subclases espectrales debido a la presencia de diferentes especies, con distinto estado de crecimiento, densidad, etc. (Canada Centre for Remote Sensing [CCRS], 2019). El proceso de clasificación (figura 38) abarca desde la obtención de datos, análisis visual y preprocesamiento, selección del método de clasificación y elaboración de resultados. Los métodos de clasificación más comunes son clasificación supervisada y clasificación no supervisada.

Figura 38.
Esquema del proceso de clasificación



Nota. Adaptado de Naumann (2008).

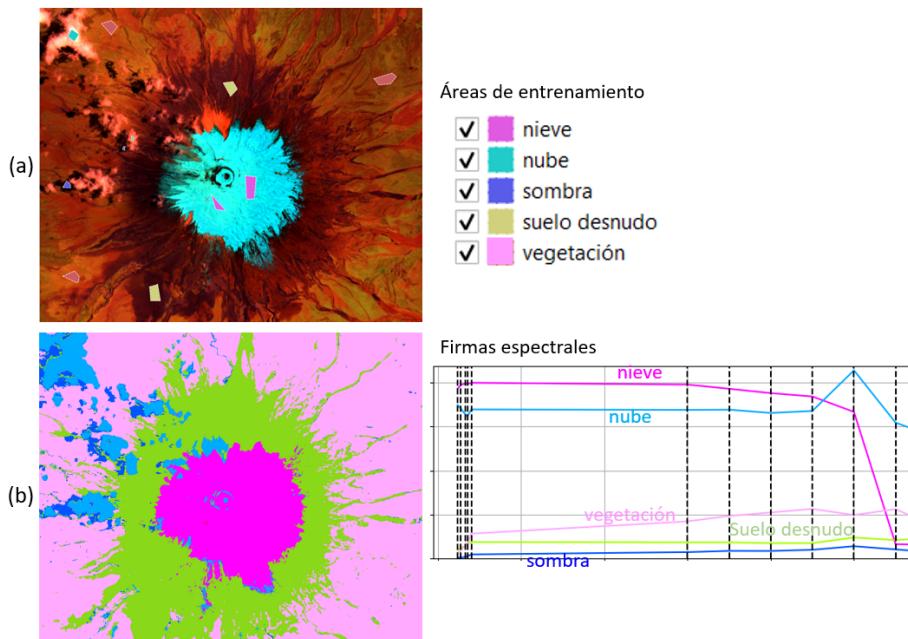
4.2. Clasificación supervisada

En una **clasificación supervisada**, el analista define las clases informacionales a priori. Luego, identifica muestras representativas de esas clases informacionales. Estas muestras se denominan áreas de entrenamiento. La selección de zonas de entrenamiento adecuadas se basa en la familiaridad del analista con la zona geográfica y en su conocimiento de los tipos de cobertura presentes en la imagen. El analista puede obtener este conocimiento a partir de trabajo de campo, experiencia personal e información secundaria. Los datos levantados en campo son un insumo importante para mejorar la calibración de las áreas de entrenamiento (CCRS, 2019). Con ayuda de software especializado para el procesamiento de imágenes, se calcula la información numérica de las áreas de entrenamiento. Esta información numérica corresponde a los valores de cada píxel en cada bandapectral. Esto es lo que se conoce como firma

espectral. Con ayuda de un algoritmo, se asigna o clasifica cada píxel a la firma con la que más similitud tiene (figura 39).

Figura 39.

Creación de áreas de entrenamiento y firmas espectrales en un proceso de clasificación supervisada



(a) imagen multibanda con polígonos de entrenamiento, (b) imagen clasificada mediante el algoritmo de máxima probabilidad.

Nota. González, I., 2023.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Estimado estudiante, le invito a resolver el siguiente ejercicio sobre interpretación visual para medir sus conocimientos.

Ejercicio de interpretación visual.

Una vez que haya finalizado este ejercicio, reflexione cuáles son las ventajas y desventajas de clasificar una imagen. Un argumento a favor podría ser que la imagen clasificada sirve para seleccionar la información más importante (categorías de uso del suelo con mayor área). Mientras que una desventaja puede ser precisamente llegar a generalizar tanto que se pierden los detalles. Investigue en la web para complementar estas ideas.

Actividad 2.

Instale el complemento Semi-Automatic Classification en QGIS. Esta es una herramienta que facilita la descarga y procesamiento de imágenes satelitales. En la página [Plugin SCP para descarga de imágenes satélite en QGIS](#), puede conocer más sobre su funcionamiento. Para orientarse en la instalación y uso de este *plugin* en una clasificación supervisada, repase el videotutorial [Clasificación Supervisada con imágenes Landsat8](#). Tenga en cuenta que para que este complemento funcione correctamente es mejor que tenga instalada la versión más actual de QGIS.

Actividad 3.

Revise la capacitación acerca del [proceso de clasificación supervisada en QGIS](#). Para reforzar su comprensión sobre los fundamentos de la clasificación supervisada, revise del minuto 22:37 a 35:56. También puede observar a partir del minuto 40 el ejercicio de clasificación supervisada con ayuda del *plugin* Semi-Automatic Classification de QGIS. Cuando realice los ejercicios le recomiendo fijarse en el paso de creación de polígonos de entrenamiento. Definir correctamente las zonas de entrenamiento es clave para obtener mejores resultados en la clasificación de imágenes.

Nota. Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o documento word.



Semana 12



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva del capítulo [Clasificación no supervisada](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca del proceso de clasificación no supervisada.

A continuación, se amplía la explicación y se proporciona ejemplos acerca del método de clasificación no supervisada. Después de estudiar estos

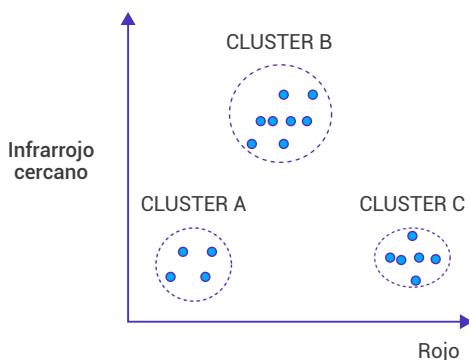
contenidos podrá darse cuenta de que la clasificación no supervisada, a diferencia de la supervisada, no requiere de sitios de entrenamiento. Le invito a continuar con la lectura de este tema para que identifique más diferencias entre los métodos supervisados y no supervisado.

4.3. Clasificación no supervisada

La **clasificación no supervisada** no requiere un conocimiento previo del área de estudio, por lo que el rol del analista se centra más en la interpretación que en la consecución de los resultados. En este procedimiento primero se definen las clases espetrales a través de algoritmos de agrupación. Luego el analista interpreta qué clases informacionales corresponden a dichas clases espetrales. La clasificación no supervisada ayuda a identificar cuántos grupos o clústeres existen en el conjunto de datos (CCRS, 2019). En el ejemplo (figura 40), el algoritmo genera grupos de píxeles en función de su reflectividad en las bandas del rojo e infrarrojo cercano.

Figura 40.

Creación de clústeres en una clasificación no supervisada

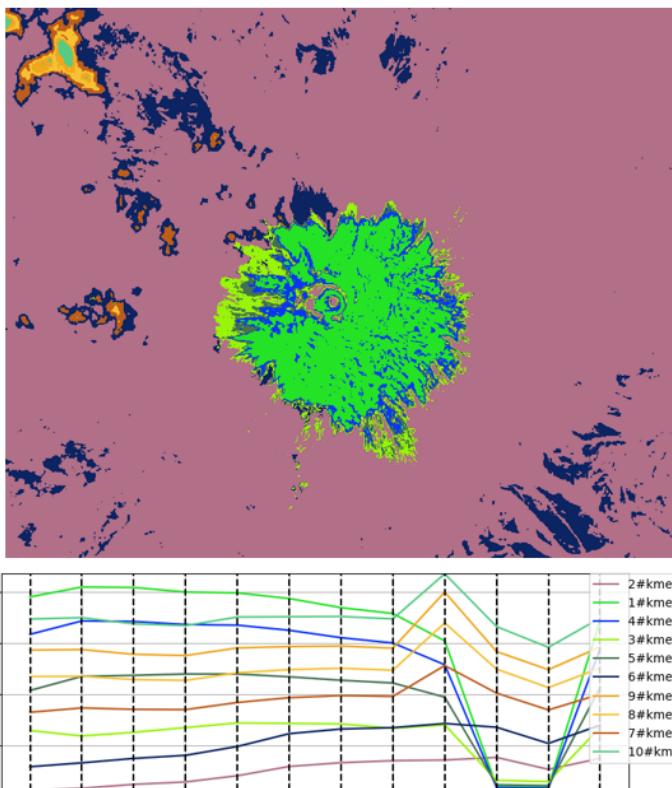


Nota. González, I., 2023.

La clasificación no supervisada se suele utilizar como técnica exploratoria, aunque no siempre los conglomerados representan a todas las coberturas existentes en el terreno, en especial aquellas que tienen una baja frecuencia. En la figura 41 se puede observar el resultado de una clasificación no supervisada. A diferencia de lo observado en la figura 39, las clases informacionales no se definen con anterioridad, pero sí se agrupan los píxeles con similitud espectral.

Figura 41.

Resultado de una clasificación no supervisada



Nota. González, I., 2023.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1.

Para consolidar su comprensión sobre los métodos de [clasificación supervisada y no supervisada](#), repase el siguiente video del minuto 18:35 a 22:36. Revise el tutorial acerca del [proceso de clasificación no supervisada](#) utilizando el [plugin Semi-Automatic Classification](#) de QGIS. Cuando realice el ejercicio, tome nota de los pasos que va realizando y compárelos con la

descripción teórica de la clasificación no supervisada. Esto le ayudará a comprender mejor el funcionamiento de este método.

Nota. Conteste la actividad en un cuaderno de apuntes o documento word.

Actividad 2.

Estimado estudiante, le invito a realizar el siguiente juego de completar para reforzar sus conocimientos sobre la clasificación supervisada y no supervisada.

Ejercicio diferencias entre clasificación supervisada y no supervisada.

¿Cómo le fue con esta pequeña investigación? Como puede notar, ambos métodos requieren de un analista o intérprete, sin embargo, en la clasificación supervisada el analista tiene un mayor control en todos los pasos de la clasificación.

Actividad 3.

Estimado estudiante, le invito a realizar el siguiente juego para reforzar sus conocimientos sobre la clasificación supervisada y no supervisada.

Tipos de clasificación.

¿Logró identificar correctamente los pasos de los procedimientos supervisados y no supervisados? Si no lo consiguió, puede revisar nuevamente los contenidos y hacer otro intento por resolver el juego. Espero que este recurso le sea de utilidad para repasar las diferencias entre la clasificación supervisada y no supervisada.



Semana 13



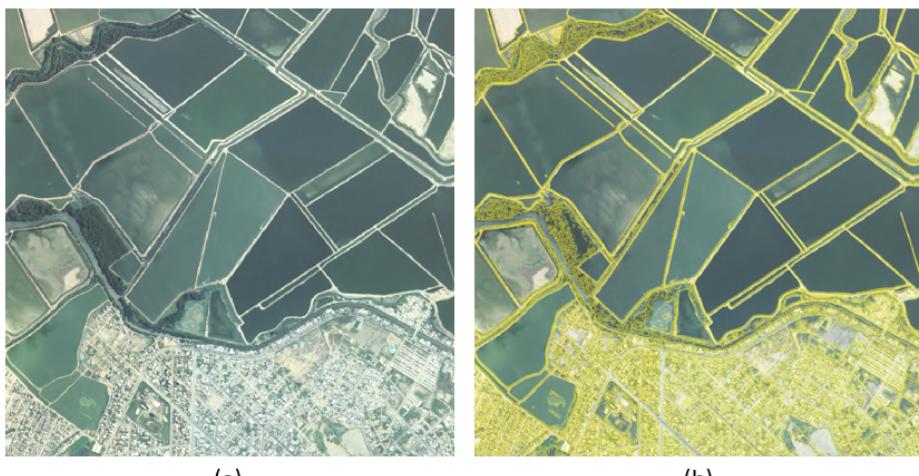
Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva de los temas [Incorporación del criterio espacial](#) y [Clasificación débil](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de otras técnicas de clasificación de imágenes satelitales.

En las semanas anteriores revisamos los métodos de clasificación más comunes que son el supervisado y el no supervisado. La lectura de esta semana se refiere a otras técnicas de clasificación, que permiten extraer información adicional de las imágenes y generar clasificaciones más precisas. Le invito a revisar los ejemplos propuestos para que mejore su comprensión sobre estos temas.

4.4. Otras técnicas de clasificación

La clasificación supervisada y no supervisada se basan en las propiedades espectrales de cada píxel. Actualmente, existen otros métodos de clasificación que incluyen otras variables, además de la respuesta espectral. Una de estas técnicas es la clasificación basada en objetos, la cual permite identificar grupos de píxeles que constituyen objetos homogéneos. Para identificar los objetos se requiere el uso de otras propiedades como la geometría, tamaño, textura y contexto (Eastman, 2016). El primer paso de una clasificación basada en objetos es la segmentación. En la figura 42 se muestra el resultado de segmentar una imagen, como puede observar la agrupación en objetos es de gran ayuda para mejorar la precisión de la clasificación.

Figura 42.
Segmentación de una imagen

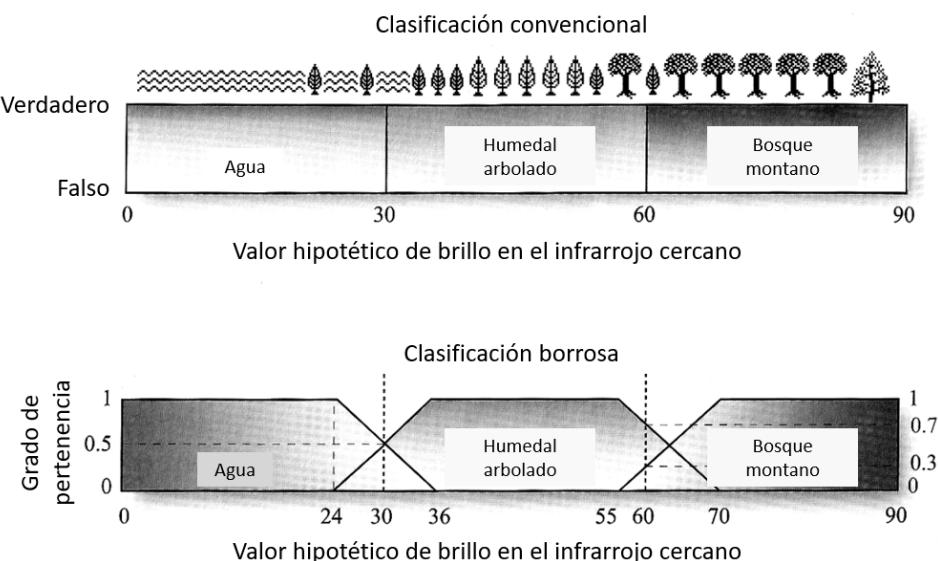


(a) imagen satelital, (b) imagen segmentada
Nota. González, I., 2023.

Los algoritmos de clasificación utilizados en la clasificación supervisada se conocen como clasificadores duros. Esto es porque cada píxel se clasifica en una sola categoría determinada. Por ejemplo, o bien se asigna como “agua” o como “bosque”. Sin embargo, pueden darse diferentes circunstancias que causen incertidumbre sobre la pertenencia de un píxel a una clase, por lo que se han desarrollado los clasificadores suaves. Estos también se conocen como clasificadores borrosos o difusos. En este tipo de clasificación también se utiliza sitios de entrenamiento, pero como resultado no se obtiene un único mapa clasificado, sino un conjunto de imágenes que expresan para cada píxel el grado de pertenencia a cada una de las clases (Eastman, 2016). En la figura 43 se observa la diferencia entre la clasificación convencional y la clasificación borrosa. Aquí se ejemplifica el caso de ecosistemas de transición en donde es común tener respuestas espectrales “mezcladas” y, por lo tanto, sería útil generar una clasificación “suave” para evaluar cuál es la probabilidad de pertenencia de cada píxel a cada clase.

Figura 43.

Diferencia entre clasificación dura (convencional) y clasificación suave (borrosa)



Nota. Adaptado de <https://web.pdx.edu/~nauna/week7-final.pdf>.

Con este esquema podemos notar que la clasificación borrosa es una buena opción para identificar píxeles donde se encuentran varias respuestas espectrales mezcladas. Por ejemplo, un área verde urbana va a tener una mezcla de vegetación y área construida. Como resultado de la clasificación borrosa se obtendría una capa que expresa la probabilidad de cada píxel de pertenecer a la categoría de vegetación y otra capa que exprese la probabilidad de cada píxel de pertenecer a la categoría de área construida. Estas capas de probabilidad se pueden utilizar para crear reglas de decisión que permitan mejorar la calidad de la clasificación.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1.

Revise la investigación con énfasis en los [datos de partida y en la metodología](#). Esto le será de utilidad para comprender los pasos a seguir en una clasificación basada en objetos. Para reforzar la parte práctica, observe el tutorial de clasificación basada en objetos utilizando la [caja de herramientas OrfeoToolBox en QGIS](#).

Actividad 2.

Realice una investigación en la web acerca de otros métodos de clasificación. Puede tomar como punto de partida el trabajo donde se explica la aplicación de diferentes enfoques en el [campo de clasificación de imágenes](#). Otro clasificador interesante es Random Forest, el cual utiliza árboles de decisión. En el [Semi Automatic Classification plugin](#) dispone de esta herramienta con la cual se puede familiarizar apoyándose en el tutorial correspondiente.

Actividad 3.

Observe los resultados de esta investigación relacionada a la [aplicación de clasificadores suaves \(lógica difusa\)](#) para mejorar la precisión de los resultados de la clasificación de imágenes de alta resolución.

Nota. Conteste las actividades en un cuaderno de apuntes o documento word.



Para profundizar en los temas de esta semana, realice una lectura comprensiva del tema [Validación](#) de Olaya (2020), en donde se explica acerca de la importancia de validar los resultados de la clasificación automática de imágenes.

Con la finalidad de reforzar la lectura de esta semana, le recomiendo revisar los siguientes apartados. Después de clasificar una imagen, es necesario comprobar qué tan acertada es la clasificación. Recuerde que este es un proceso automático y que existen diversas situaciones por las cuales un píxel puede no haber sido clasificado correctamente. Entonces, para medir la precisión de la clasificación se han desarrollado algunas técnicas de validación, las cuales se explican seguidamente.

4.5. Validación de la clasificación

Una vez que contamos con una imagen clasificada, es necesario valorar en qué medida la clasificación se aproxima a los datos de referencia de una fuente de información diferente. Este procedimiento se conoce como validación o evaluación de la precisión (Eastman, 2016). La precisión nos permite valorar si los datos derivados de la teledetección representan o no lo que hay realmente sobre el terreno.

Para recopilar los datos de referencia se debe diseñar el muestreo. Esto implica definir el número y tamaño de ubicaciones de referencia, para lo cual se puede utilizar un muestreo aleatorio, sistemático o estratificado. Los datos de referencia pueden ser levantados en el terreno, u obtenidos a partir de fotografías aéreas o imágenes satelitales de alta resolución.

Los datos en terreno se pueden recopilar con GPS o sensores de campo. Este procedimiento se conoce en inglés como “*ground truthing*”. Cuando no es factible recopilar información en el campo (por ejemplo, por presupuesto o accesibilidad) se puede recurrir al uso de fotografías aéreas, videografía aérea o imágenes de satélite de alta resolución. Aunque siempre es preferible contar con datos de campo, es muy común valerse de imágenes de referencia de alta resolución por ser un método más económico en términos de tiempo y dinero.

Para poder comparar la imagen clasificada con la imagen de referencia se construye una matriz de confusión. Revisemos en la figura 44 el caso de la categoría Nieve. La celda en verde registra el número de píxeles que se han clasificado correctamente al comparar con los datos de referencia (32). La celda naranja registra un error de clasificación por omisión, es decir, los píxeles que deberían haberse identificado como pertenecientes a una clase concreta simplemente no se reconocen como presentes (2). La celda amarilla registra un error de clasificación por comisión, es decir, los píxeles asociados a una clase se identifican incorrectamente como otras clases (1).

Figura 44.

Ejemplo de matriz de confusión

	Imagen de referencia					
		Nieve	Nube	Sombra	Suelo desnudo	Vegetación
Nieve	32	1	1	1	1	36
Nube	2	25	0	0	2	29
Sombra	0	0	30	10	3	43
Suelo desnudo	1	1	5	28	1	36
Vegetación	1	1	1	1	40	44
Total columna	36	28	37	40	47	188

- Positivo verdadero, píxeles clasificados correctamente
- Falso positivo, error tipo I
- Falso negativo, error tipo II
- Total de puntos

Nota. González, I., 2023.

Con base en la matriz de confusión se pueden calcular métricas de exactitud como Precisión del productor, Precisión del usuario, Precisión global e índice Kappa. En la figura 45 se indica el cálculo de algunas de estas mediciones. Tomaremos el ejemplo de la categoría Sombra. La precisión del productor es del 81.08 % y se calcula dividiendo el valor de la diagonal para el total de la columna. La precisión del usuario es del 69.77 % y se calcula dividiendo el valor de la diagonal para el total de la fila. Finalmente, la precisión global de toda la matriz se obtiene al dividir la sumatoria de las celdas diagonales para el total de puntos.

Figura 45.

Ejemplo de métricas de precisión

	Precisión del productor	Precisión del usuario	Precisión global
Nieve	88.89	88.89	82.45
Nube	89.29	86.21	
Sombra	81.08	69.77	
Suelo desnudo	70.00	77.78	
Vegetación	85.11	90.91	

 30/37

 30/43

 $(32+25+30+28+40)/188$

Nota. González, I., 2023.

Como podemos observar, la precisión global nos indica qué proporción de todos los lugares de referencia se han cartografiado correctamente. La precisión global suele expresarse en porcentaje, siendo el 100 % una clasificación perfecta en la que todos los lugares de referencia se han clasificado correctamente. La precisión global es la más fácil de calcular y comprender, pero en última instancia solo proporciona al usuario y al productor del mapa información básica sobre la precisión.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Para profundizar en el procedimiento de validación, le sugiero seguir la [capacitación gratuita](#) del programa NASA ARSET. Con esto tendrá claro cómo seleccionar datos de referencia, diseñar el muestreo y construir la matriz de confusión. En la descripción de la capacitación se indica cómo obtener los datos para poder realizar la práctica. Parte del material del curso es esta interesante presentación que explica de forma sintética [la teoría y principales cálculos relacionados a la evaluación de la exactitud de una clasificación](#).

Actividad 2:

Uno de los usos más comunes de las imágenes clasificadas es realizar análisis multitemporales. Revise el siguiente artículo sobre el [análisis del cambio de uso/cobertura del suelo a nivel de intervalo, categoría y transición](#). Este tipo de análisis permite identificar los patrones de cambio más importantes en una zona, lo cual es información clave sobre todo en zonas donde hay procesos de degradación de ecosistemas naturales.

Actividad 3:

Revise nuevamente los contenidos de las semanas 11, 12, 13 y 14. Luego, compruebe el aprendizaje alcanzado sobre la unidad 4 realizando la siguiente autoevaluación. En las preguntas planteadas, seleccione la respuesta correcta.



Autoevaluación 5

1. () La clasificación convierte datos continuos a categóricos.
2. () El método de clasificación que requiere definir zonas de entrenamiento es el supervisado.
3. () En la clasificación no supervisada el rol del intérprete consiste en definir las clases informacionales a priori.
4. A medida que aumentamos las zonas de entrenamiento.
 - a. Aumentamos el error.
 - b. Aumentamos la representatividad.
 - c. Aumentamos el ruido.
5. Una recomendación es que se delimiten zonas de entrenamiento con un tamaño que incorpore al menos un número de celdas diez veces superior al de variables consideradas.
6. Una ventaja del método de paralelepípedos es que todos los elementos quedan clasificados dentro de una categoría.
7. El método de máxima verosimilitud se diferencia de los de distancia mínima y paralelepípedos en que:
 - a. Evalúa parámetros geométricos.
 - b. Genera probabilidades de pertenencia.
 - c. Se basa en fundamentos estadísticos.
8. La clasificación basada en objetos adiciona a la clasificación el criterio:
 - a. Temático.
 - b. Espectral.
 - c. Espacial.

9. La clasificación suave consiste en:
 - a. Asignar grados de pertenencia a diferentes categorías.
 - b. Atribuir cada píxel a una categoría determinada.
 - c. Generar árboles de decisión para clasificar los píxeles.
10. Para validar una clasificación se utiliza una matriz de:
 - a. Correlación.
 - b. Contingencia.
 - c. Confusión.

[Ir al solucionario](#)



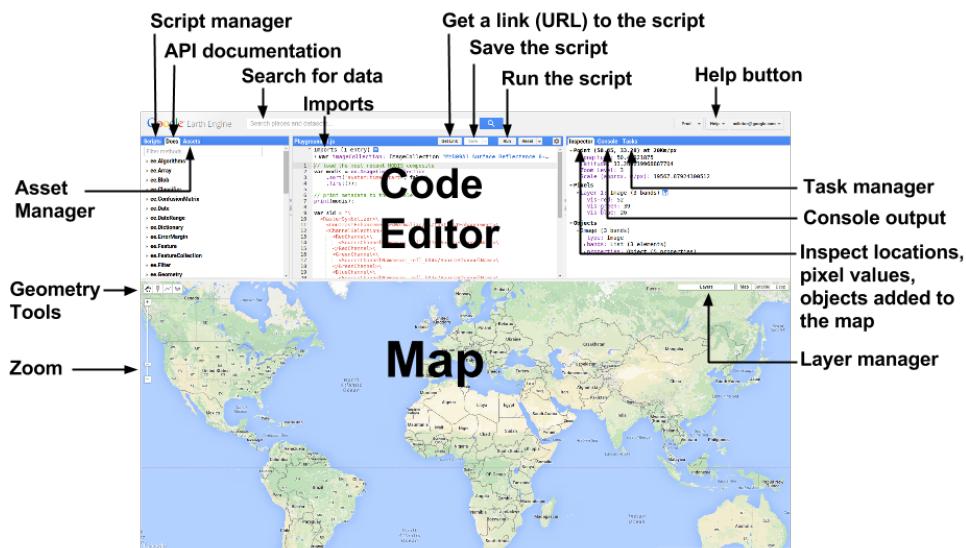
4.6. Nuevas tendencias en teledetección



En esta semana revisaremos la aplicación en línea Google Earth Engine para el análisis de imágenes satelitales. Para profundizar en este tema, revise la [nota técnica](#) de Perilla y Mas (2020) que explica el potencial de Google Earth Engine para estudiar problemas a escalas globales y abarcar períodos largos. Tome en cuenta que estos contenidos no forman parte de la evaluación de la asignatura.

Como hemos visto desde el primer bimestre, existe una gran cantidad de datos de teledetección. Hoy en día es indispensable poder analizar toda esa cantidad de información para estudiar diferentes problemáticas como el cambio climático, análisis de riesgos naturales, resiliencia de los ecosistemas y planificación urbana. En este contexto surge Google Earth Engine (GEE), la cual proporciona una plataforma de recuperación y procesamiento geoespacial basada en la nube. A través de GEE se puede acceder a la gran mayoría de los datos de teledetección multitemporales, públicos y de libre acceso. Además, permite realizar los análisis en la nube y gestionar gran cantidad de datos (Yang et al, 2022). En la figura 46 se observa la interfaz principal de GEE.

Figura 46.
Interfaz de Google Earth Engine



Nota. Tomado de https://hasencios.github.io/GEE_BASICO_SENAMHI/02-code-editor/.



Actividades de aprendizaje recomendadas

Estimados estudiantes, las actividades propuestas a continuación no son evaluadas y no debe entregarlas al docente. Esta le permitirá verificar sus avances y reforzar los conocimientos en la unidad correspondiente.

Actividad 1:

Acceda a [GEE](#). Puede asociar su correo de [Gmail](#) para iniciar sesión en GEE. Antes de probar la herramienta, revise estos [timelapses](#) creados con GEE. Estas secuencias temporales le permitirán apreciar los principales cambios en nuestro planeta en los últimos 40 años.

Actividad 2:

Una vez que se familiarice con la interfaz de GEE podrá notar que, para utilizar sus capacidades analíticas, es necesario escribir códigos. Si no se tiene experiencia en programación, un recurso muy útil es el libro gratuito [Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento](#). El libro aborda

desde cuestiones básicas hasta ejercicios avanzados, con una guía detallada para poder adquirir destrezas en el manejo de GEE.



Actividades finales del bimestre



Semana 16



Estimado/as estudiantes, hemos culminado el segundo bimestre. ¡Felicitaciones!. Espero que los temas revisados hayan sido de su interés. Esta semana está destinada a la revisión y estudio de los contenidos del segundo bimestre. Por lo tanto, se recomienda realizar las siguientes actividades finales:



Actividades de aprendizaje recomendadas

Actividad 1: realice una sistematización de los contenidos del segundo bimestre

Recuerde que los contenidos de la asignatura están explicados en la guía didáctica, pero que se deben reforzar y profundizar con las lecturas obligatorias. Revise la tabla 5 para recapitular los temas estudiados durante el segundo bimestre.

Tabla 5.*Resumen de contenidos del segundo bimestre*

Unidad	Tema	Material de lectura
Unidad 3. Procesamiento de imágenes	3.4 Análisis y extracción de información 3.4.1 Visualización 3.4.2 Operaciones morfológicas	capítulos Visualización y Operaciones morfológicas de Olaya (2020)
	3.5 Estimación de parámetros físicos	capítulo Estimación de parámetros físicos de Olaya (2020)
Unidad 4. Clasificación de imágenes	4.1 Fundamentos de clasificación	capítulos Clasificación y Clasificación supervisada de Olaya (2020)
	4.2 Clasificación supervisada	
	4.3 Clasificación no supervisada	capítulo Clasificación no supervisada de Olaya (2020)
	4.4 Otras técnicas de clasificación	temas Incorporación del criterio espacial y Clasificación débil de Olaya (2020)
	4.5 Validación de la clasificación	tema Validación de Olaya (2020)

Nota. González, I., 2023.

Actividad 2: aplique diferentes técnicas de estudio

- Estudiar las unidades del segundo bimestre de la guía didáctica, aplicando técnicas de estudio como mapas conceptuales, resúmenes y esquemas.
- Realizar una lectura comprensiva de las lecturas obligatorias en los temas que corresponda, subrayando o resaltando ideas principales y consultando el significado de términos nuevos.
- Revisar las actividades calificadas y autoevaluaciones para reforzar su comprensión sobre los temas.

Nota. Conteste la actividad en un cuaderno de apuntes o documento word.

Actividad 3: participe de la evaluación presencial

La evaluación presencial es parte de las actividades de aprendizaje autónomo y se rinde al finalizar el bimestre. Revise el calendario académico para estar al tanto de la fecha propuesta por la Universidad para realizar la evaluación. Las preguntas son de opción múltiple con una sola respuesta correcta. Recuerde: la evaluación presencial es una actividad formativa y sumativa que evalúa la adquisición de resultados de aprendizaje que contribuyen al desarrollo de las competencias de la carrera.



4. Solucionario

Autoevaluación 1		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Teledetección es el vocablo usado por los hispanoparlantes para referirse al término inglés <i>remote sensing</i> , que se traduce literalmente como percepción remota.
2	a	TIROS-I (Television Infrared Observation Satellite-I) fue el primer satélite meteorológico con una cámara de televisión de baja resolución espacial, que permitía a los meteorólogos discriminar entre nubes, agua, hielo y nieve.
3	a	El visible (VIS) es una pequeña región del espectro electromagnético que apenas abarca desde los 0.4 µm hasta los 0.7 µm. El color azul iría desde 0.4 hasta 0.5 µm, el verde desde 0.5 µm hasta 0.6 µm y el rojo de 0.6 µm a 0.7 µm.
4	b	Los satélites geoestacionarios se utilizan para la observación continua de un área específica del planeta.
5	a	La distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra se refiere a la resolución espacial.
6	b	El número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar se refiere a la resolución espectral.
7	c	La resolución que define el máximo número de niveles digitales detectables por un sensor es la resolución radiométrica.
8	d	La frecuencia con la que un sensor pasa por un mismo punto de la Tierra se refiere a la resolución temporal.
9	b	El tipo de resolución que permite diferenciar imágenes monocromáticas, multiespectrales, e hiperespectrales es la resolución espectral.
10	a	El tipo de producto más adecuado para este caso serían las imágenes de resolución espacial baja, por ejemplo el NDVI de MODIS pues a pesar de tener una resolución espacial gruesa tiene una elevada resolución temporal.

Ir a la
autoevaluación

Autoevaluación 2		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	De las listadas, el satélite que ofrece de forma gratuita sus productos es Landsat 7, los demás satélites son comerciales.
2	b	La imagen monocromática de mayor resolución es la de Geoeye (0.5), todas las demás imágenes están sobre el metro de resolución en su imagen monocromática.
3	a	Con 8 bandas, Landsat 7 es la que mayor resoluciónpectral tiene dentro de las opciones planteadas.
4	a	Rapideye tiene una resolución temporal de 1 día, a diferencia de Landsat 7 con 15 días.
5	b	Geoeye tiene una resolución espacial de 2 metros en su imagen a color, mayor a los otros satélites que tienen resolución mayor a 3.
6	c	La imagen pancromática se obtiene desde un sensor pasivo.
7	b	Los sensores pasivos requieren de una fuente de energía externa, por lo general la energía solar, para funcionar.
8	a	Los sensores activos tienen su propia fuente de energía, por lo cual no dependen de la energía solar.
9	b	Las imágenes Lidar son un ejemplo de imagen de sensor activo.
10	a	El espectro visible es el que presenta las bandas Rojo, Verde y Azul.

[Ir a la autoevaluación](#)

Autoevaluación 3		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	c	Mirando una imagen, es probable que podamos identificar características tales como su color, si el firme es asfaltado o, por el contrario, es de tierra y se trata de un camino.
2	b	Los equipos empleados para recoger las imágenes pueden incorporar errores, ruido, o distorsiones. Eliminar o tratar estas para que su efecto sea menor es un proceso previo que en la mayoría de los casos es un requerimiento imprescindible antes del análisis.
3	a	La digitalización en pantalla es un proceso manual de extracción de información de una imagen en base a un análisis visual.
4	a	El análisis visual requiere conocimientos más sencillos e intuitivos, mientras que el automático requiere conocimientos técnicos para ajustar los algoritmos que realizan el proceso.
5	b	Mientras que el análisis visual se basa tanto en las propiedades espaciales como en las tonalidades de la imagen, en el caso de un análisis automático, este se basa fundamentalmente en los valores de reflectancia, incorporando en ocasiones cierta componente espacial.
6	a	Distorsiones de forma provocadas por los movimientos y oscilaciones del sensor, o por el relieve del terreno, entre otros factores.
7	a	Las distorsiones geométricas pueden ser debidas a los siguientes factores: rotación de la Tierra durante la toma de la imagen; frecuencia de escaneo del sensor; curvatura de la Tierra; efectos panorámicos; variaciones en la velocidad y altura de la plataforma de registro.
8	b	A diferencia de la rectificación, que busca corregir errores geométricos, ubicando correctamente en un plano horizontal los mismos, la ortorectificación utiliza un elemento adicional: la altitud, y busca corregir las distorsiones provenientes del relieve del terreno.
9	b	La corrección radiométrica corrige valores erróneamente registrados o ruido presente en la imagen, entre otras alteraciones que pueden aparecer en esta.
10	a	El empleo de filtros es una técnica habitual para realizar la corrección de uno de los errores debidos a sensores (píxeles aislados).
11	a	La expansión de contraste genera un efecto de normalización de la imagen en un rango de 0 a 255, con lo que se logra que exista más contraste entre los diferentes objetos en el territorio.
12	b	La ecualización es un proceso no linear que busca destacar el brillo de una imagen, generando un histograma recto, a partir de una imagen que antes tenía un histograma sigmoidal.

Autoevaluación 3

Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
13	a	Los filtros de suavizado producen un efecto de desenfoque, restando definición a la imagen. Atenúan las diferencias entre píxeles vecinos.
14	a	Los filtros de realce producen un efecto de enfoque, aumentando la definición de la imagen.
15	b	Por medio de la fusión pueden crearse imágenes sintéticas que combinen imágenes con alta resolución espacial y otras con alta resolución espectral, y que presenten alta resolución en ambas componentes.

Ir a la
autoevaluación

Autoevaluación 4		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	b	Una composición en falso color es una técnica de visualización.
2	a	Para que la composición RGB destaque los elementos de interés se debe asignar las bandas en las que los elementos presentan un comportamientopectral característico en los canales RGB.
3	a	Las operaciones morfológicas modifican la forma de los objetos.
4	b	Las operaciones morfológicas se suelen aplicar sobre imágenes binarias.
5	a	Las dos operaciones morfológicas básicas son erosión y dilatación, y otras, derivadas de las primeras son Apertura, cierre y esqueletización.
6	d	Combinando las operaciones de erosión y dilatación, se definen otras nuevas. Las dos más básicas son la apertura y el cierre. Para el cierre se aplica primero dilatación y luego erosión.
7	b	Un índice de vegetación puede definirse como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretenden extraer de los mismos la información relativa a la vegetación.
8	b	El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se calcula con la reflectancia del rojo e infrarrojo cercano.
9	b	Un índice espectral es una técnica de transformación de imágenes.
10	b	El análisis de componentes principales utiliza información estadística de las bandas originales para crear un nuevo conjunto con menos bandas que sintetiza la información original.

[Ir a la autoevaluación](#)

Autoevaluación 5		
Pregunta	Respuesta	Retroalimentación
1	a	Mediante la clasificación se convierte los números digitales de las bandas (datos continuos) a clases (datos categóricos).
2	a	El método que utiliza zonas de entrenamiento es el supervisado.
3	b	En la clasificación no supervisada el intérprete genera agrupamientos y luego interpreta sus firmas espectrales.
4	b	Mientras más zonas de entrenamiento incorporemos en la clasificación, aumentamos la representatividad de estas zonas y por tanto mejoramos la clasificación.
5	a	Algunos autores recomiendan que se tomen para cada clase al menos un número de celdas diez veces superior al de variables consideradas.
6	b	Una característica del método del paralelepípedo es que pueden existir elementos que no puedan ser clasificados al no caer dentro de ningún paralelepípedo En el método de distancia mínima todos los elementos pueden ser clasificados, ya que siempre existe uno más cercano.
7	c	A diferencia de los métodos del paralelepípedo o del de distancia mínima, el método de máxima verosimilitud no evalúa un parámetro geométrico dentro del espacio de atributos, sino que se basa en fundamentos estadísticos.
8	c	Una forma de incorporar la relación espacial entre las celdas es la utilizar los denominados métodos basados en objetos.
9	a	La clasificación suave permite obtener una imagen por cada categoría con la probabilidad de pertenencia de cada píxel a cada categoría.
10	c	La matriz que sirve para validar una clasificación se llama matriz de confusión o de errores.

[Ir a la autoevaluación](#)



5. Referencias bibliográficas

- Abdulateef, S. y Salman, M. (2021). A Comprehensive Review of Image Segmentation Techniques. *Iraqi Journal for Electrical and Electronic Engineering.* 17. 166-175. 10.37917/ijeee.17.2.18.
- Canada Centre for Remote Sensing. (2019). Fundamentals of Remote Sensing. Natural Resources Canada. https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf
- Earth Explorer. (2023). Parámetros de calibración de una imagen que constan en el archivo de metadatos [Captura de pantalla]. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- EO Browser. (2023). Figuras 6, 8, 9, 15, 16, 19 y Figuras del Anexo 1 [Capturas de pantalla]. <https://apps.sentinel-hub.com/ eo-browser/>, Sinergise Ltd.
- Google Maps. (2023). Vista parcial de América del Sur de Google Satellite [Captura de pantalla]. <https://www.google.com.au/maps/>
- Labrador García, M., Brondo, J. y Arbelo, M. (2012). Satélites de teledetección para la gestión del territorio.
- Lira, J. (2018). Tratamiento Digital de Imágenes Multiespectrales. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Momeni, R., Aplin, P., y Boyd, D. 2016. "Mapping Complex Urban Land Cover from Spaceborne Imagery: The Influence of Spatial Resolution, Spectral Band Set and Classification Approach." *Remote Sensing* 8 (2) (January 23): 88. doi:10.3390/rs8020088. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8020088>.
- Moore, G. (1979). What is a picture worth? A history of remote sensing / Quelle est la valeur d'une image? Un tour d'horizon de télédétection,

Hydrological Sciences Bulletin, 24(4), 477-485, <https://doi.org/10.1080/02626667909491887>.

Naumann, S. (2008). The Classification Process. Einführung in die Fernerkundung - Skriptum. (Heidelberg) 45 pp.

Olaya, V. (2014) Sistemas de información geográfica. Enlace: <https://volaya.github.io/libro-sig/index.html>

Sivanpillai, R. (2021). Landsat. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2021 Edition), John P. Wilson (ed.). <https://doi.org/10.22224/gistbok/2021.2.5>.

Yang, L., Driscol, J., Sarigai, S., Wu, Q., Chen, H., y Lippitt, C. D. (2022). Google Earth Engine and Artificial Intelligence (AI): A Comprehensive Review. Remote Sensing, 14(14), 3253. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs14143253>



6. Anexos

Anexo 1. Exploración de imágenes satelitales en EOBrowser

En el recuadro de búsqueda (Figura 1), escriba Loja, Ecuador

Figura 1.

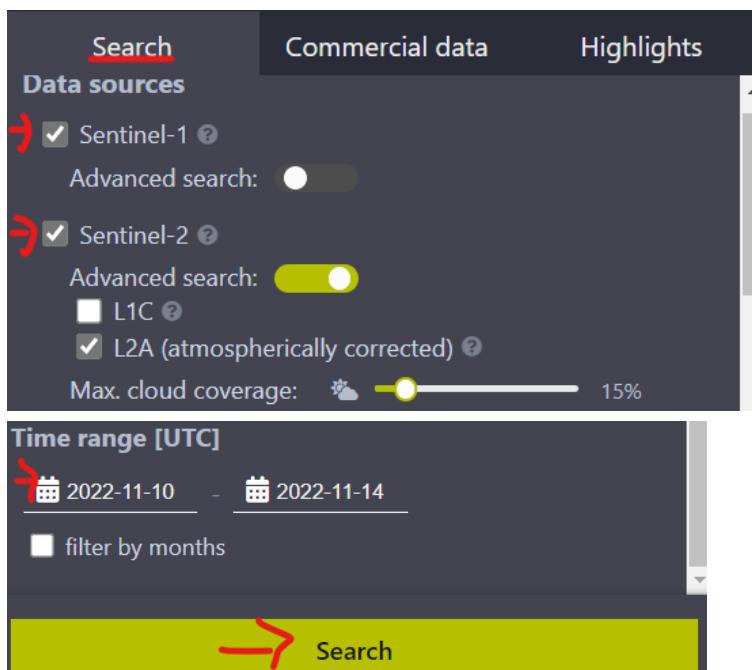
Búsqueda del sitio de interés



Nota. Configuración de búsqueda para la zona de Loja, Ecuador (EO Browser, 2023).

Vamos a buscar imágenes Sentinel-1 (radar) y Sentinel-2 (multiespectral). Delimite la fecha de búsqueda del 10 al 14 de noviembre de 2022. Apóyese en la siguiente imagen (Figura 2) para configurar los parámetros de búsqueda. Luego haga clic en el botón verde de Buscar (Search).

Figura 2.
Selección de productos y fechas

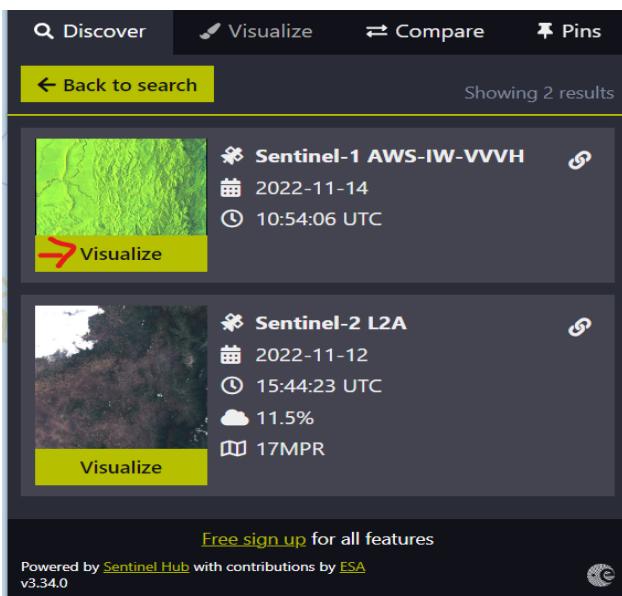


Nota. Búsqueda de productos Sentinel-1 y Sentinel-2 entre el 10 y 14 de noviembre de 2022 (EO Browser, 2023).

Ahora vamos a visualizar las imágenes. En primer lugar, haga clic en Visualizar (Visualize) sobre la imagen Sentinel-1 (Figura 3).

Figura 3.

Visualización de los resultados de la búsqueda

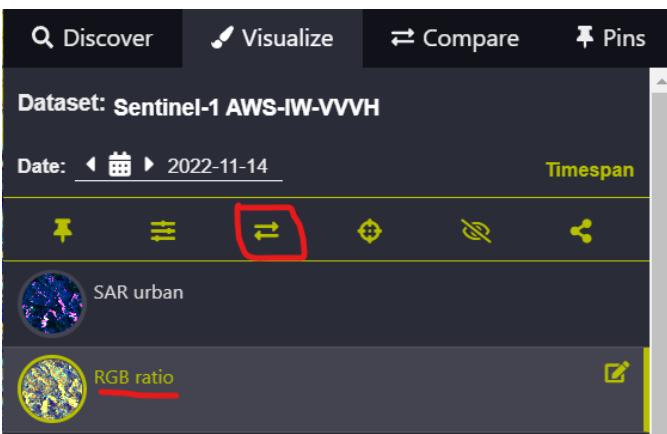


Nota. Imagen Sentinel-1 visualizada los resultados de búsqueda (EO Browser, 2023).

Seleccione la opción de visualización RGB Ratio (Figura 4) y una vez que se cargue la imagen, haga clic en el botón

Figura 4.

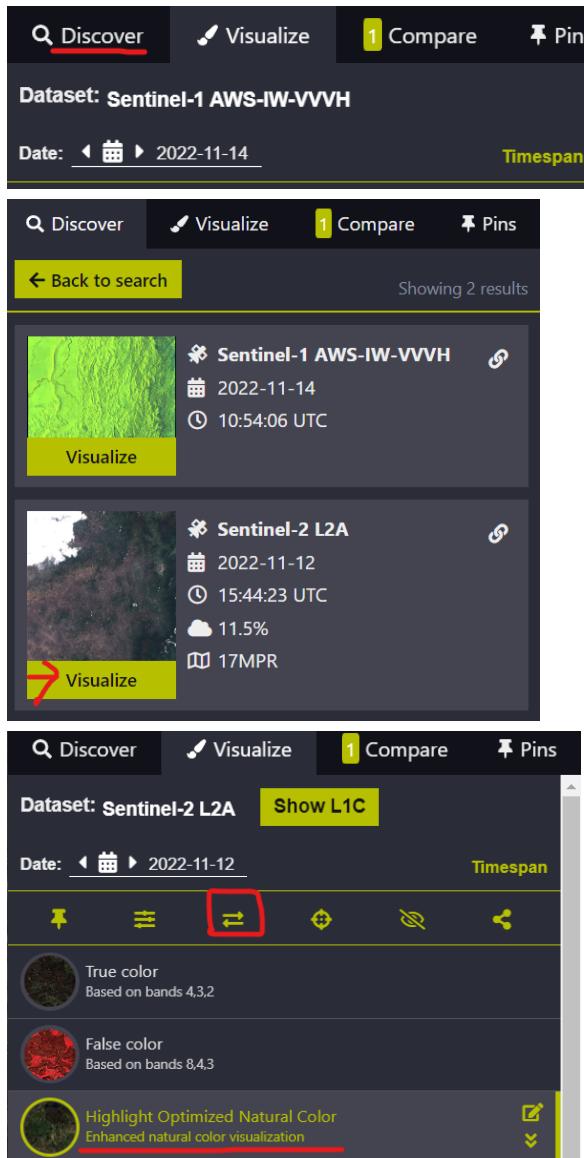
Configuración de la visualización de la imagen Sentinel-1



Nota. Imagen Sentinel-1 visualizada con la opción RGB ratio, que destaca la topografía de la zona (EO Browser, 2023).

Ahora, haga clic en Discover para regresar a la lista de imágenes para visualizar la escena Sentinel-2. Escoja la opción de visualización Color natural optimizado (Figura 5) y añada a la lista de comparación haciendo clic en el botón .

Figura 5.
Configuración de la visualización de la imagen Sentinel-2

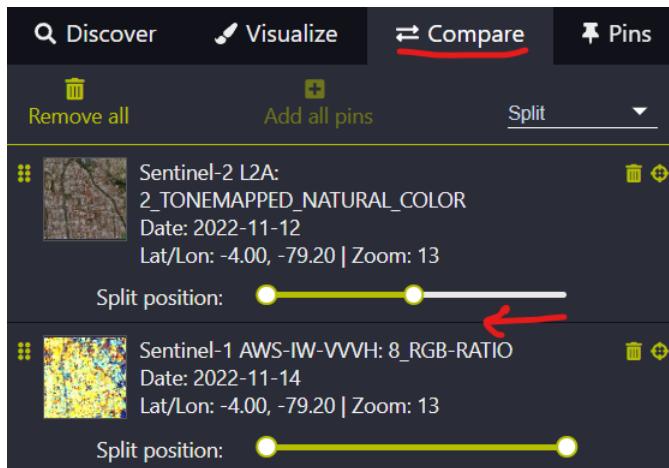


Nota. Imagen Sentinel-2 visualizada con la opción Highly Optimized Natural Color, que resalta los rasgos urbanos (EO Browser, 2023).

Finalmente, ubíquese en la pestaña Compara (Compare) y deslice la barra de la primera imagen para comparar las visualizaciones de Sentinel-1 y Sentinel-2 (Figura 6).

Figura 6.

Comparación de imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2



Nota. Al comparar las imágenes considere que Sentinel-1 es un sensor activo y Sentinel-2 es un sensor pasivo (EO Browser, 2023).

Una vez que ha realizado esta comparación visual, reflexione:

- ¿Puede interpretar con facilidad los elementos del territorio visualizando la imagen radar Sentinel-1?
- ¿Qué elementos puede identificar en la imagen Sentinel-2?