

Teledetección Satelital

Dr. Raimundo Sánchez
raimundo.sanchez@uai.cl
@raimun2

Percepción remota

- Adquisición de información de un objeto o fenómeno usando instrumentos que no están en contacto con ese objeto o fenómeno
 - Terrestre
 - Aérea
 - Espacial
- Un sensor es un instrumento a bordo de una plataforma capaz de adquirir remotamente información de diferentes regiones del espectro. Cada una de estas regiones se denomina canal o banda espectral. Existen dos tipos de sensores: activos y pasivos.
- **Sensores Activos:** Generan su propia radiación y la reciben reflejada (Radar y LiDAR)
- **Sensores Pasivos:** Miden energía radiante reflejada o emitida por el sistema tierra- atmósfera. Ejemplo Landsat, Sentinel, MODIS.



Activa



Pasiva

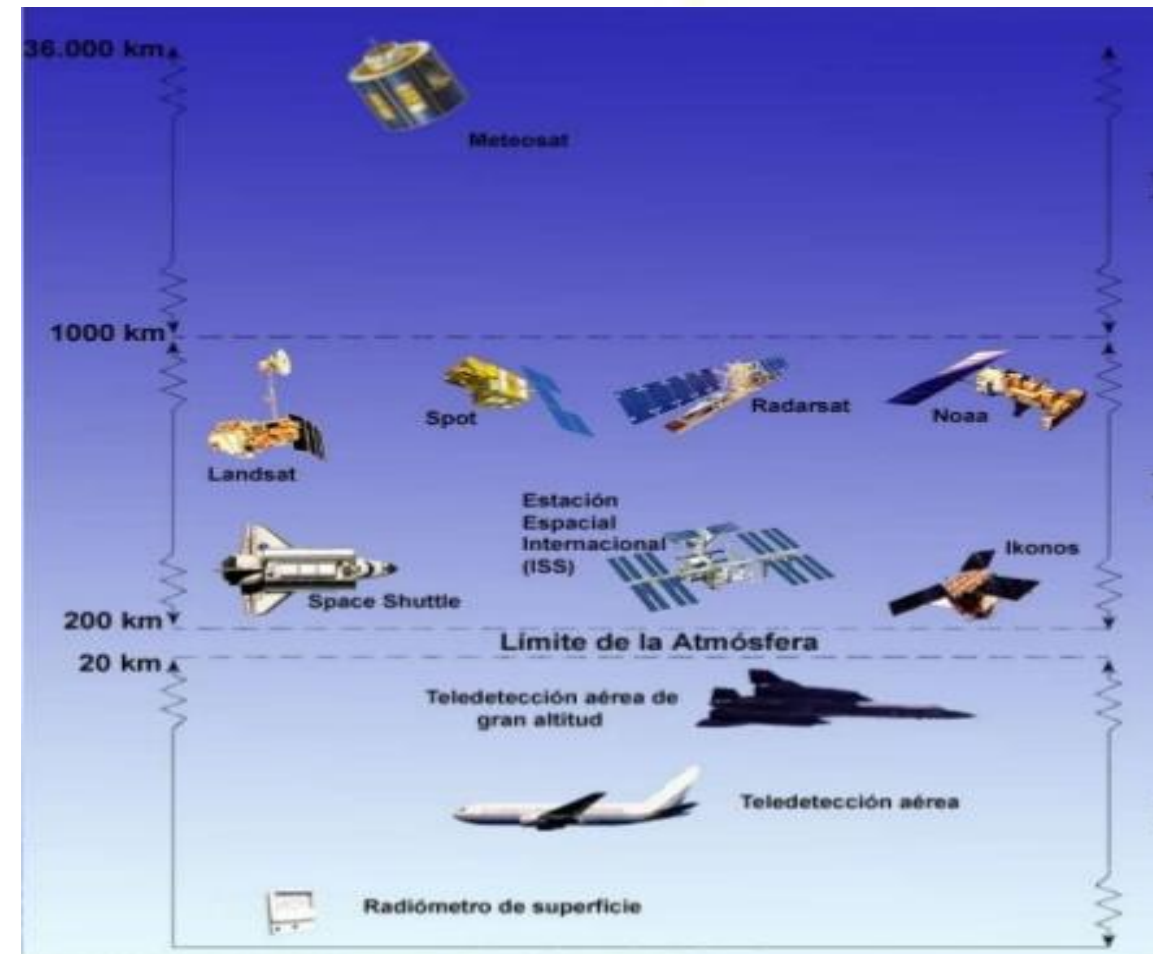
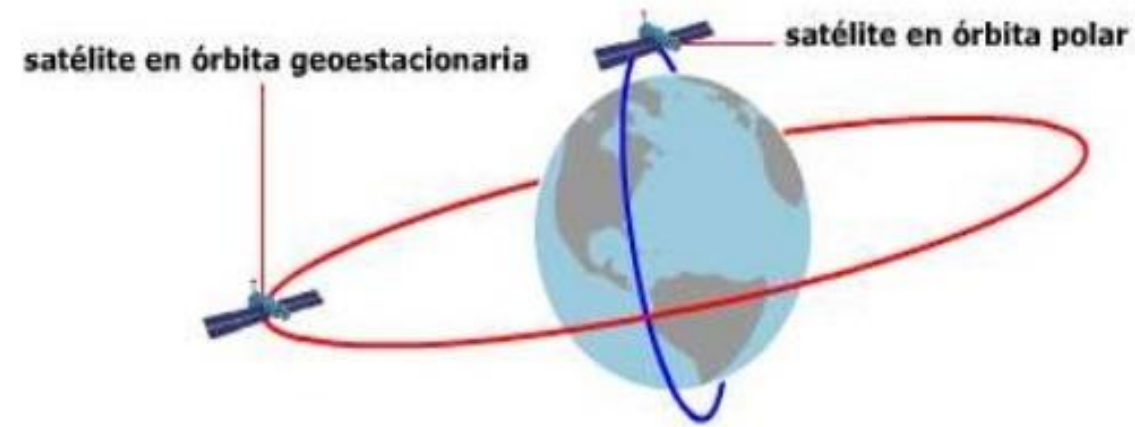
Teledetección satelital

- Disciplina científica que integra diversos conocimientos y tecnologías para la observación, el análisis y la interpretación de fenómenos espaciales en distintas escalas
- Se basa en que **todos los cuerpos emiten radiación electromagnética**, cuyo tipo y cantidad dependen principalmente de la temperatura del cuerpo
- El principal emisor de radiación es el Sol, cuyo **reflejo en la superficie y atmósfera terrestre** nos permite ver y analizar los objetos a nuestro alrededor
- **Elementos:** Fuente de energía, objetivo o escena y sensor



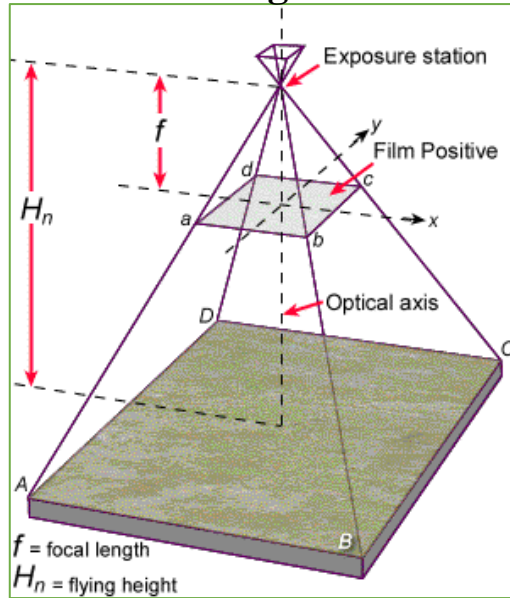
Satélites y Sensores

- Un satélite es una plataforma que describe una trayectoria definida alrededor de la Tierra (órbita). Existen dos tipos:
- **Geoestacionarios:** Sobre la línea ecuatorial, a 36.000 km de la Tierra. Comunicaciones y meteorología
- **Heliosíncronos:** Órbitas circulares y polares. Captan imágenes con regularidad sobre un mismo punto o escena.

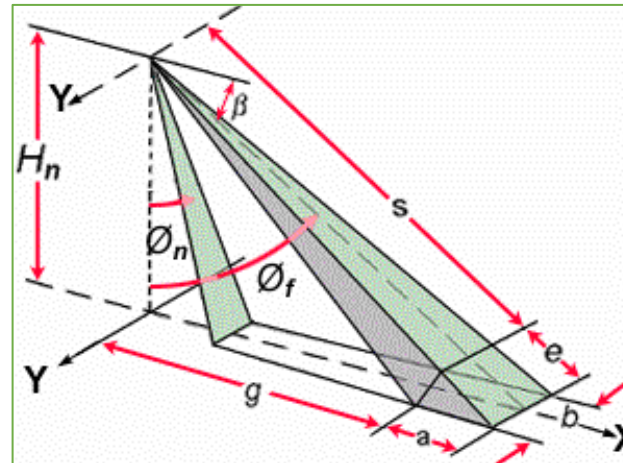


Sistemas de medición

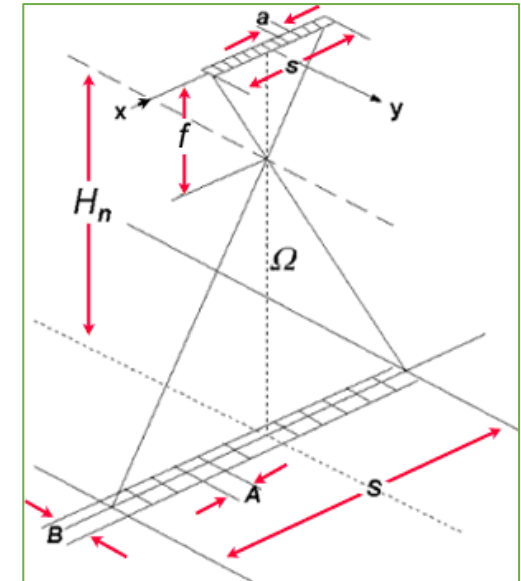
Sistemas Fotográficos



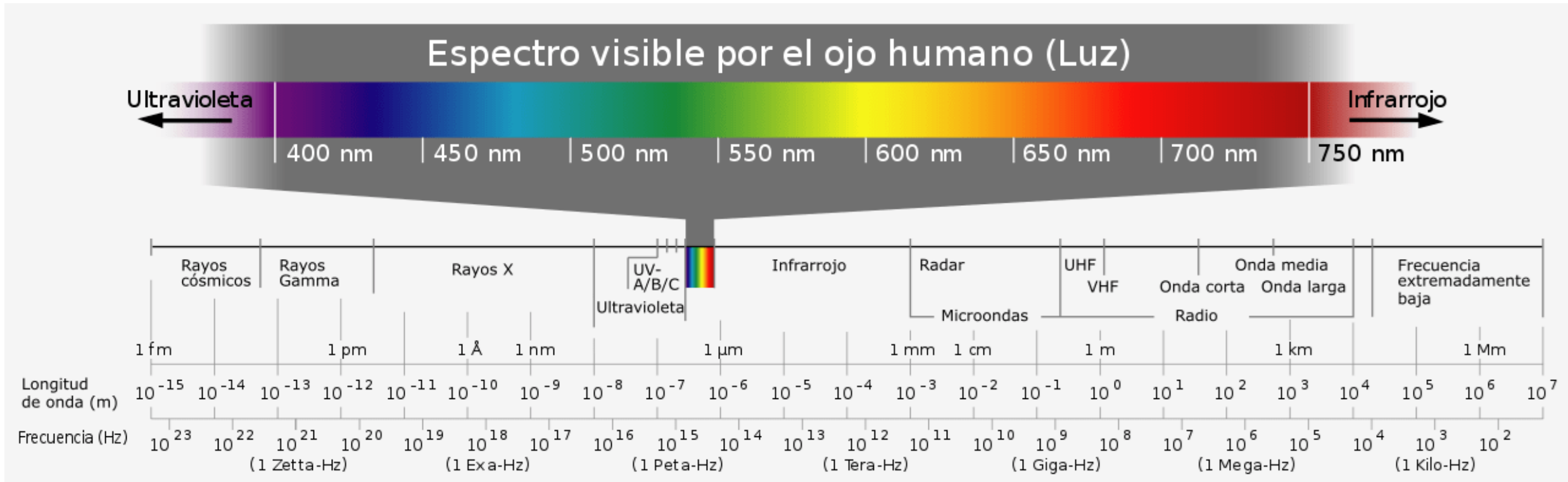
Sistemas RADAR



Sistemas de Barrido

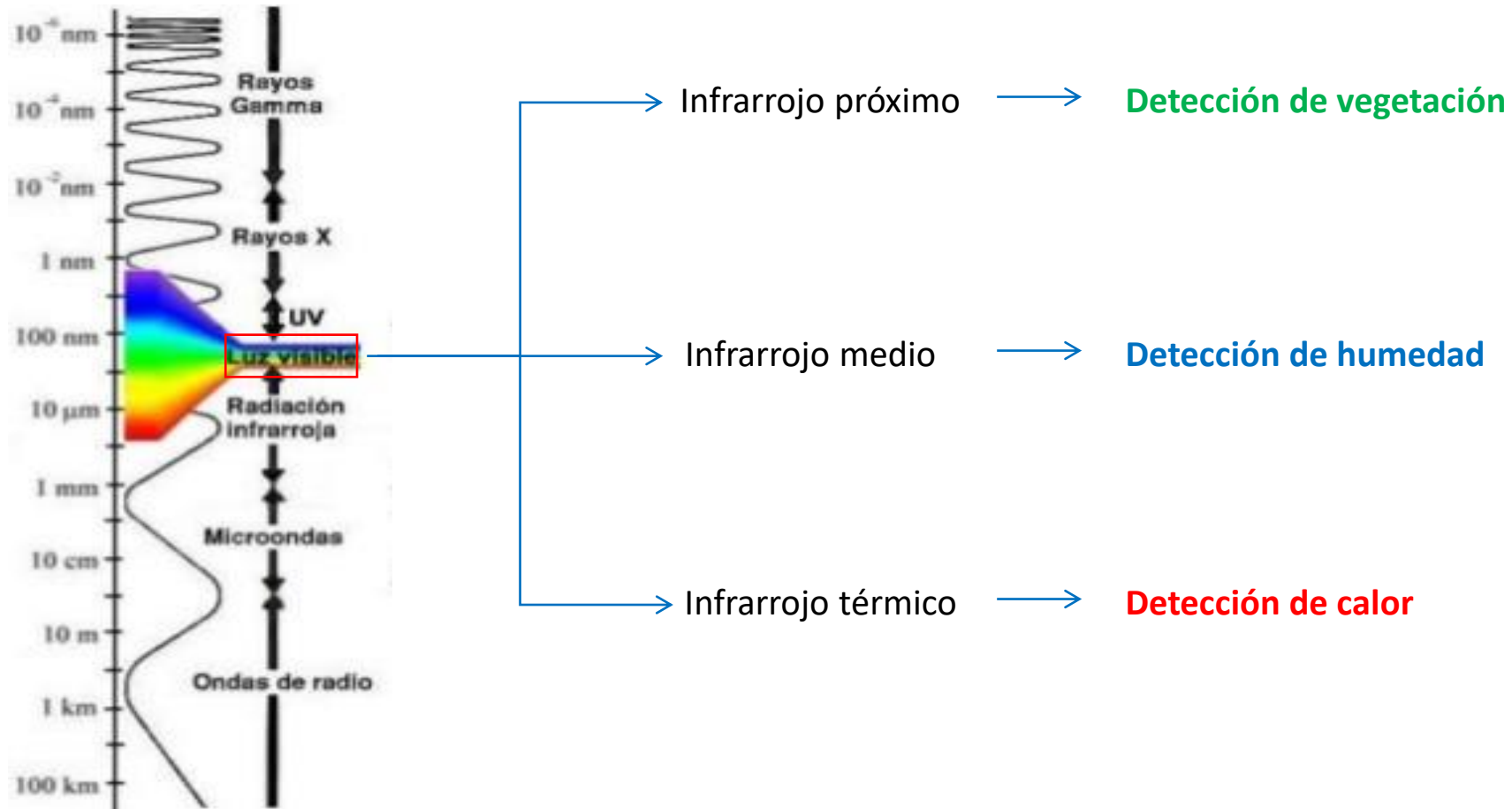


Bandas multispectrales



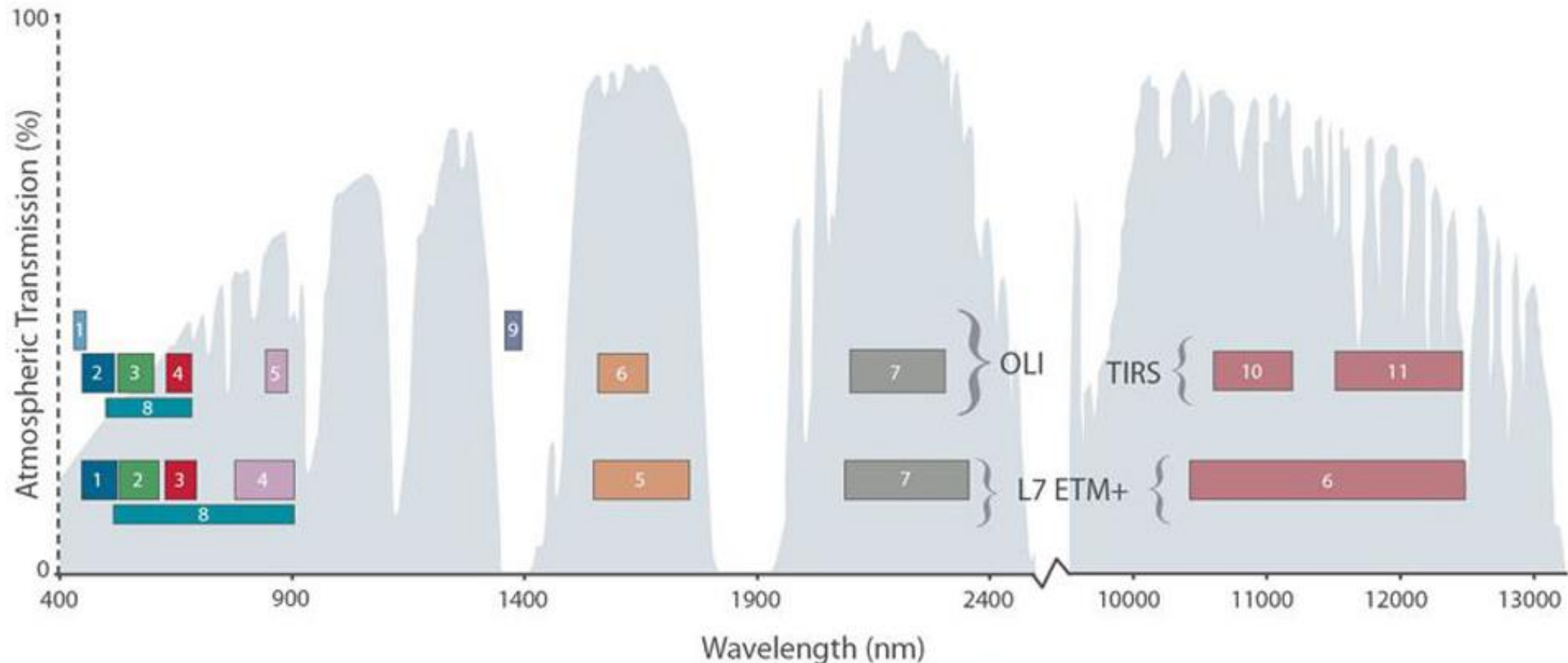
Espectro Electromagnético

Es un **conjunto de frecuencias o longitudes de onda** determinadas por la energía de los fotones. Abarca las radiaciones entre los rayos gamma y las ondas de radio.



Espectro Electromagnético

Sensibilidad de sensores Landsat a distintas bandas del espectro electromagnético



Bandpass wavelengths for Landsat 8 OLI and TIRS sensor, compared to Landsat 7 ETM+ sensor

Note: atmospheric transmission values for this graphic were calculated using MODTRAN for a summertime mid-latitude hazy atmosphere (circa 5 km visibility).

Espectro Electromagnético

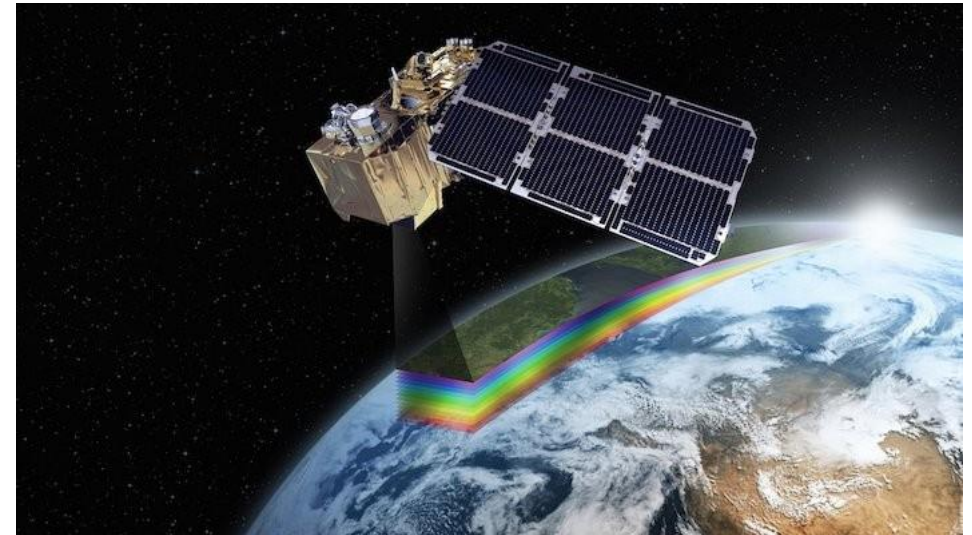
Espectro registrado por el conjunto de sensores del Landsat 8

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

Fuente: USGS

Características de Satélites y Sensores

- La energía emitida o reflejada por la superficie terrestre es un fenómeno continuo en 4 cuatro dimensiones: espacio, tiempo, longitud de onda y radiancia.
 - Resolución espacial
 - Resolución temporal
 - Resolución espectral
 - Resolución radiométrica



Resolución espacial

Tamaño del pixel o celda del raster que contiene a la banda espectral (Landsat: 30 m x 30 m)

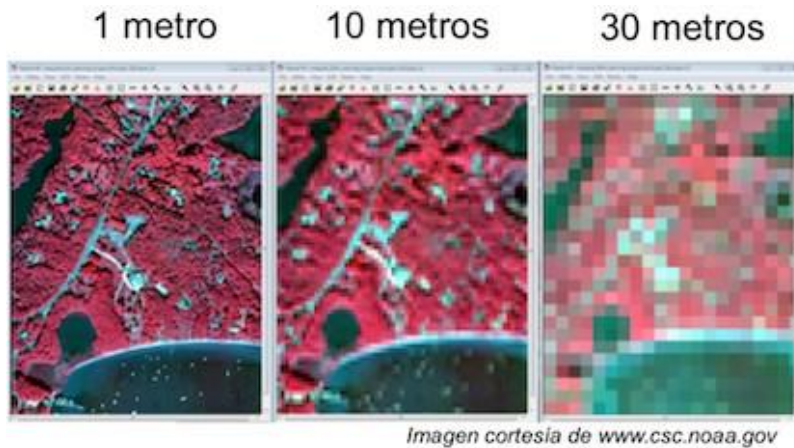
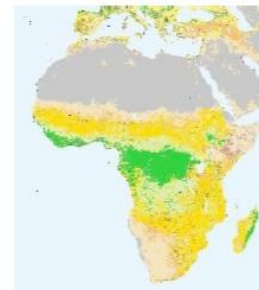


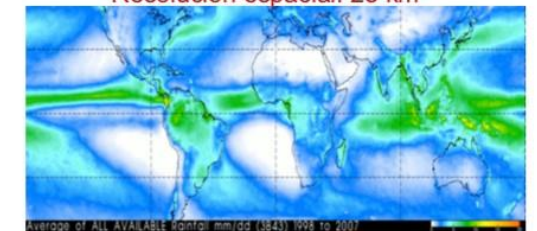
Imagen de Landsat de Filadelfia
Resolución espacial: 30 m



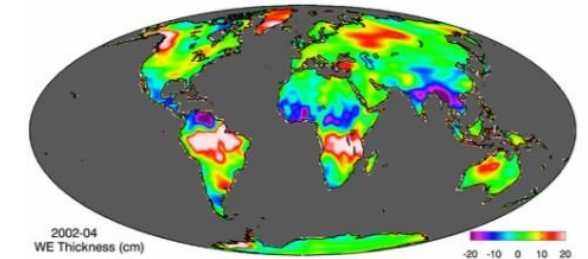
Manto terrestre de Terra/MODIS:
Resolución espacial: 1 km²
(From: <http://gislab.jhsph.edu/>)



Tasa pluvial del TRMM
Resolución espacial: 25 km²

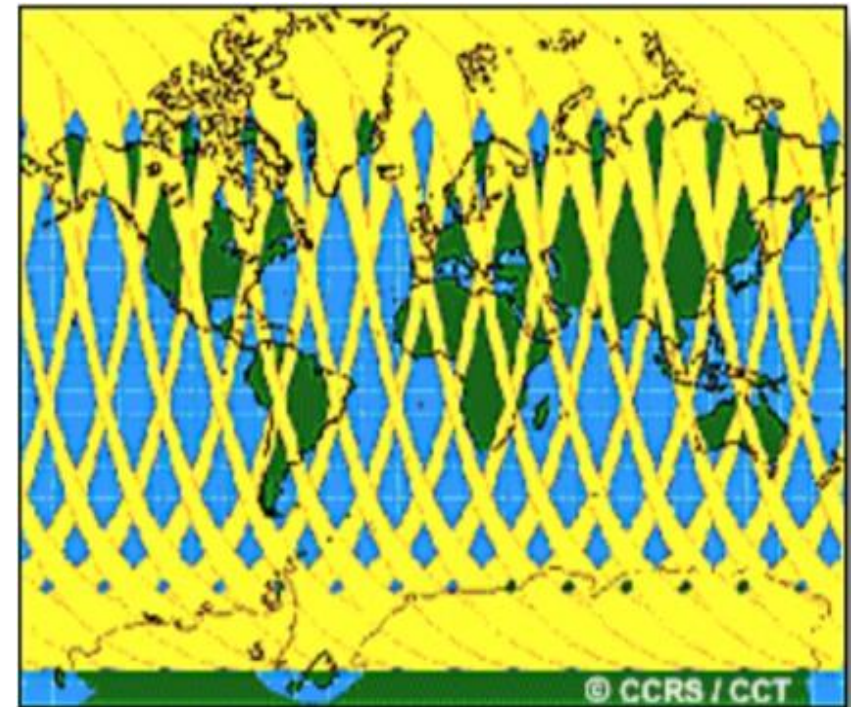


Variaciones del almacenaje de agua terrestre de GRACE: Resolución espacial: 150,000 km² o más bruta
(Cortesía: Matt Rodell, NASA-GSFC)



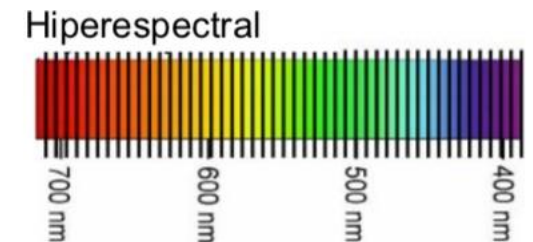
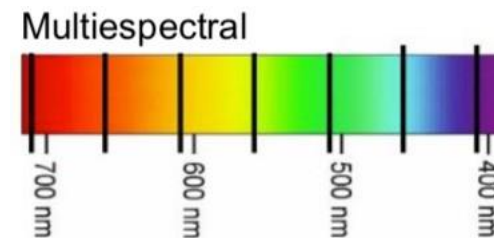
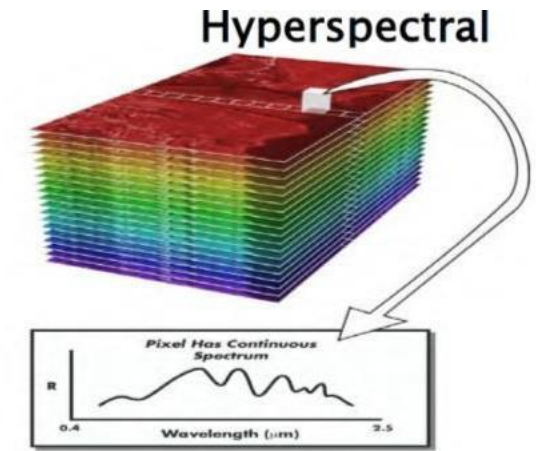
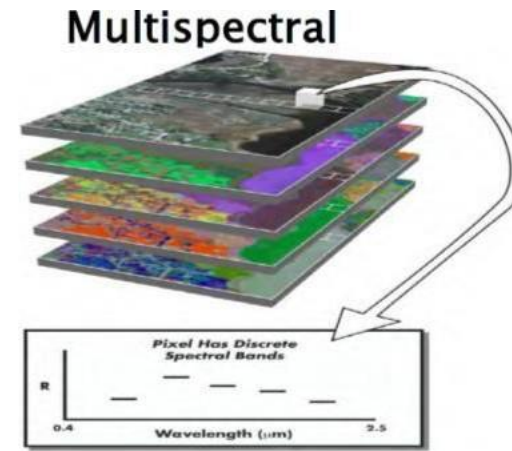
Resolución temporal

- El tiempo que tarda un satélite en completar un ciclo orbital; también conocido como “tiempo de revisita”
- Depende de las capacidades, solapa de barrido y latitud del satélite/sensor.
- Algunos satélites pueden apuntar sus sensores.
- Algunos satélites tienen una mayor solapa en latitudes superiores así que posiblemente tengan un mayor tiempo de repetición .



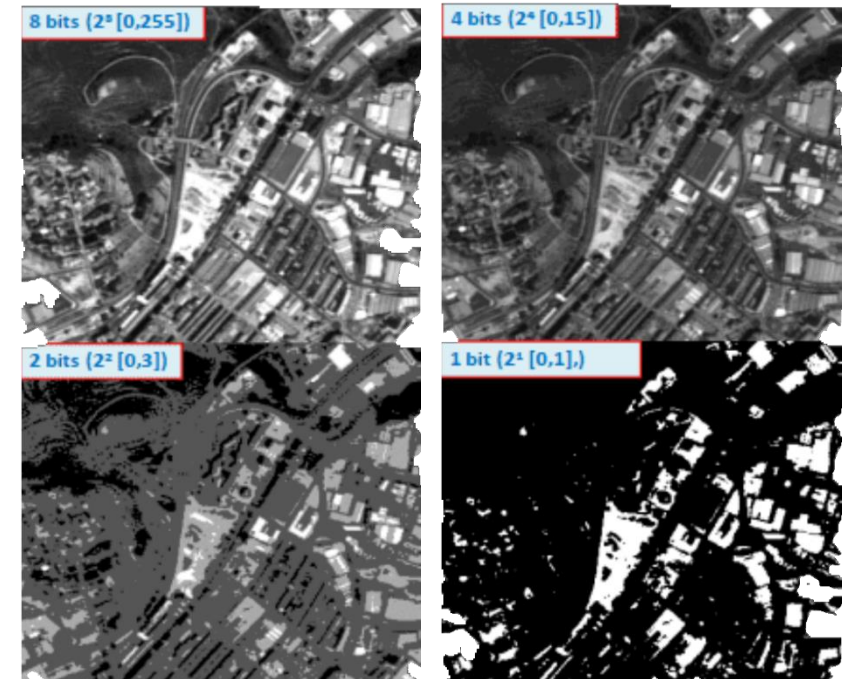
Resolución espectral

- Número y rango de las regiones del espectro electromagnético para los que capta información el sensor.
- Describe la habilidad del sensor de definir intervalos de longitudes de onda.
- Cuanto más fina la resolución espectral, más estrecha la gama de longitudes de onda para un canal o banda en particular.
- Tener más y más finos canales permite la percepción remota de diferentes partes de la superficie de la Tierra.



Resolución radiométrica

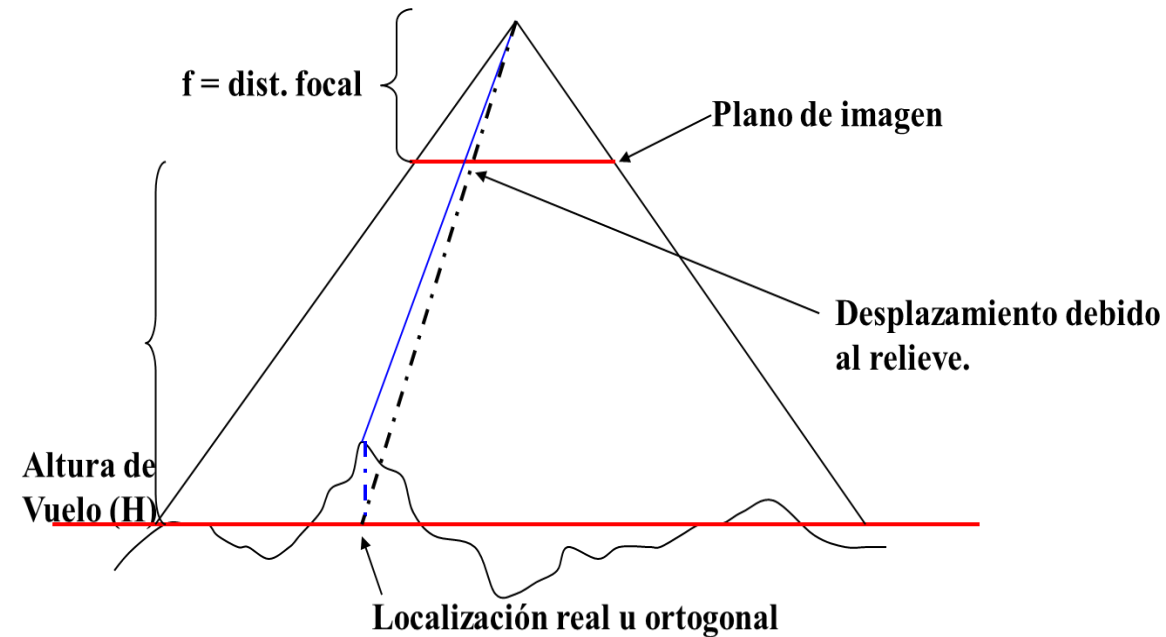
- Indica el número de intervalos de intensidad que puede captar el sensor.
- El número máximo de niveles de luminosidad disponible depende del número de bits que se utilizan en la representación de la energía registrada.
- Cuanto mayor este número, más alta la resolución radiométrica y más nítidas las imágenes
- Representada por números digitales positivos que varían del 0 a (uno menos que) alguna potencia de 2.



12 Bits	MODIS	2^{12}	4096 niveles
10 Bits	AVHRR	2^{10}	1024 niveles
8 Bits	Landsat TM (Thematic Mapper)	2^8	256 niveles
6 Bits	Landsat MSS (Multispectral Scanner System)	2^6	64 niveles

Corrección de Bandas

- Las imágenes satelitales se encuentran expuestas a una serie de interferencias que perturban la lectura espectral, asociadas a distintos errores mecánicos de los sensores o a interferencias atmosféricas.
- Los principales procesos que se realizan son:
 - **Corrección radiométrica:** Corrige fallos y cambios en los sensores
 - **Corrección geométrica:** Alteraciones en los movimientos de los satélites generan distorsiones en la imagen
 - **Corrección topográfica:** El efecto topográfico provoca una variación de la respuesta radiométrica de la superficie inclinada frente a la de una horizontal (efecto sombra)
 - **Corrección atmosférica:** Corrige las interferencias atmosféricas (vapor de agua)



Ejemplos de información territorial generada por teledetección



AMBIENTES O ECOSISTEMAS

- Marino costero
- Humedales
- Salares
- Lacustre
- Bosques

ÍNDICES Y VARIABLES AMBIENTALES

- Índice de calidad superficial del agua
- Superficie anual cubierta por bosque nativo
- Índice de eutrofización de lagos y lagunas
- Superficie de humedales

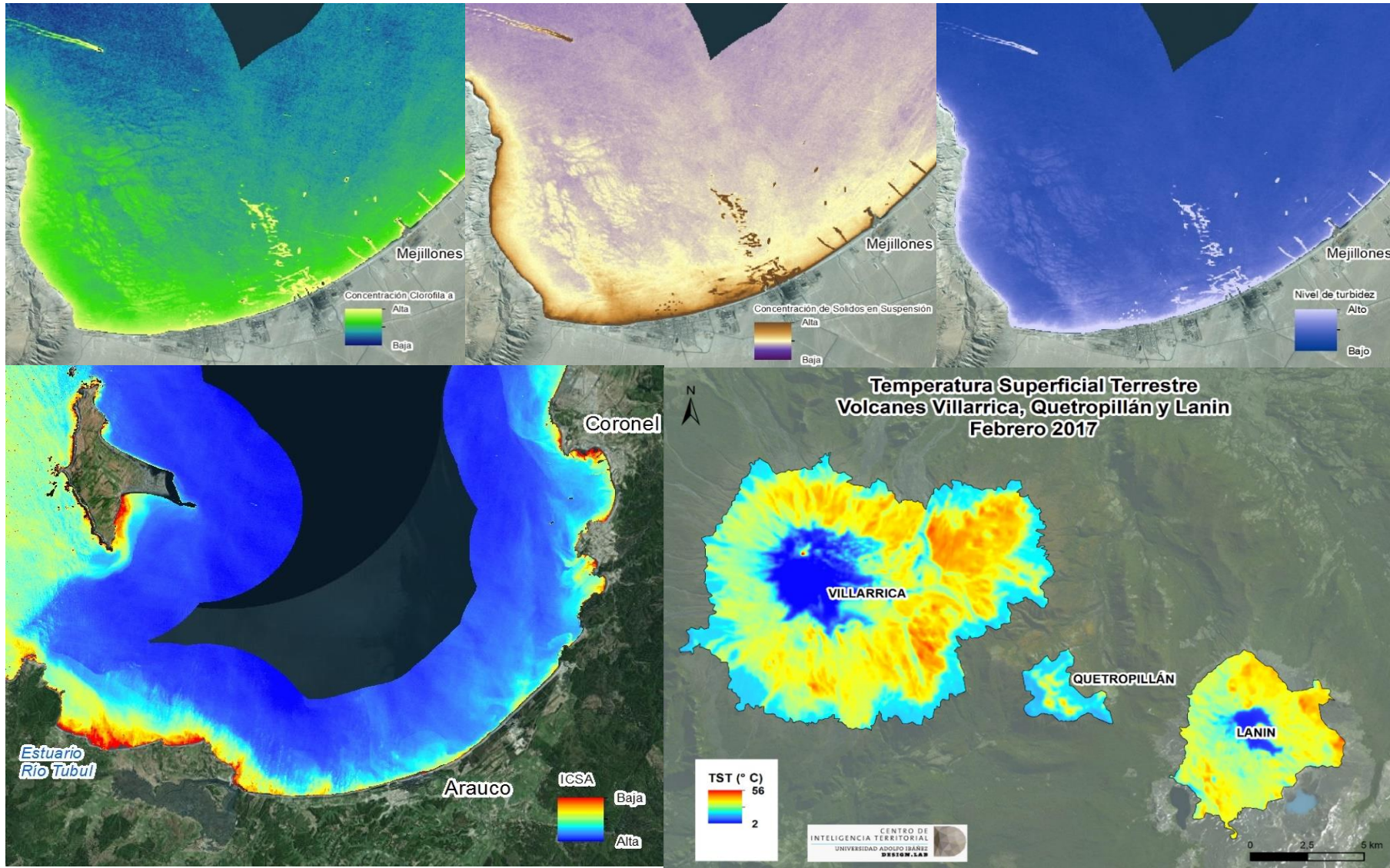
INDUSTRIAS PRODUCTIVAS

- Minería
- Energía
- Saneamiento
- Acuicultura

INDICADORES

- Variación anual de la calidad superficial del agua
- Variación anual de la superficie cubierta por bosque nativo
- Variación anual del grado de eutrofización lacustre
- Variación anual de la superficie inundada de humedales

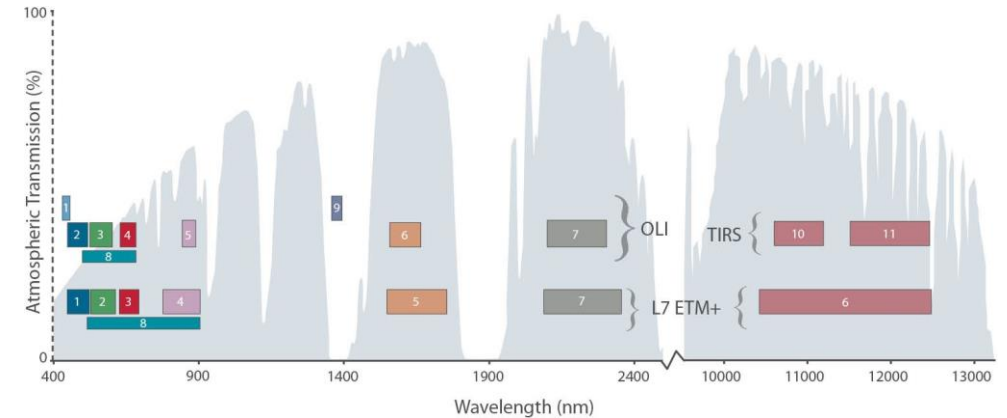
Ejemplos de información territorial generada por teledetección



Satélites de uso frecuente: LANDSAT 8

- Landsat 8 es un satélite de observación terrestre estadounidense lanzado el 11 de febrero de 2013.
- Transporta dos instrumentos OLI y TIRS, que corresponden a las siglas en inglés para Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS).
- Pasa por el mismo punto cada 16 días con un desfase de 8 días con respecto al satélite Landsat 7

Landsat 1: 1972 - 1999
Landsat 2: 1975 -1999
Landsat 3: 1978 -1999
Landsat 4: 1982 - 1993
Landsat 5: 1985 - 2012
Landsat 6: 1993. Lanzamiento
Landsat 7: 1999- Presente
Landsat 8: 2013 - Presente
Landsat 9: 2021



	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Resolución espacial - LandSat

LANDSAT 7			
BANDA	SENSOR	RANGO	RESOLUCIÓN
1	ETM	0,45 - 0,52	30
2		0,52 - 0,60	30
3		0,63 - 0,69	30
4		0,76 - 0,90	30
5		1,55 - 1,75	30
6		10,4 - 12,5	60
7		2,08 - 2,35	30
8		0,50 - 0,90	15

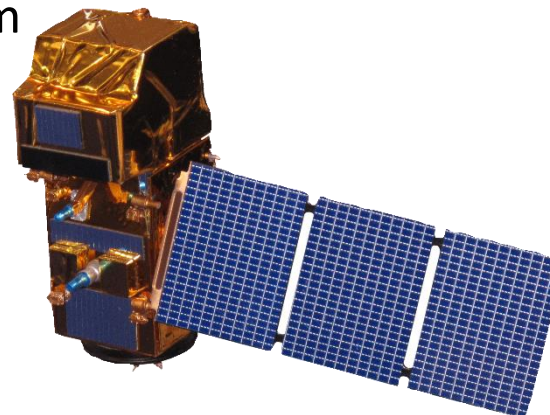
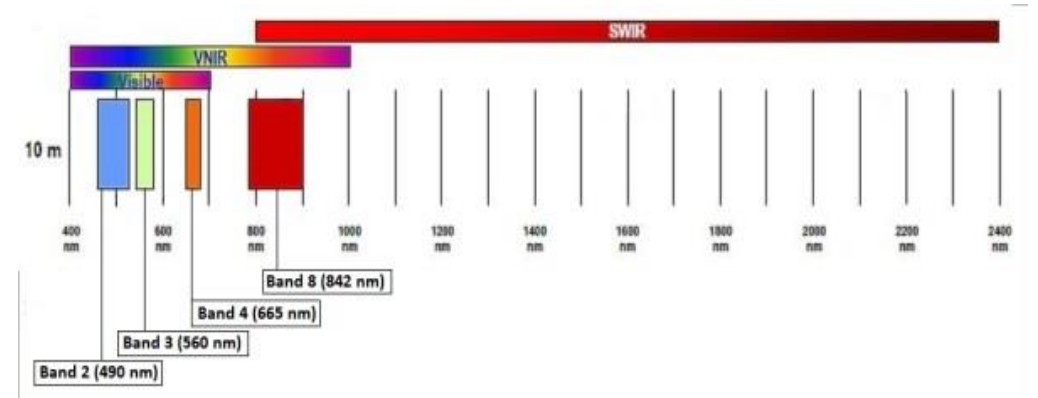
LANDSAT 8			
BANDA	SENSOR	RANGO	RESOLUCIÓN
1	OLI	0,435 - 0,451	30
2		0,452 - 0,512	30
3		0,533 - 0,590	30
4		0,636 - 0,673	30
5		0,851 - 0,879	30
6		1,566 - 1,651	30
7		2,107 - 2,294	30
8		0,503 - 0,676	15
9		1,363 - 1,384	30
10	TIRS	10,60 - 11,19	100
11		11,50 - 12,51	100

Satélites de uso frecuente: Sentinel 2

- Sentinel-2 es una misión de observación terrestre desarrollada por la ESA dentro del programa Copérnico.
- Está compuesto por dos satélites idénticos: Sentinel-2A (junio de 2015) y Sentinel-2B (marzo de 2017)

Características:

- Imagen multispectral datos con 13 bandas
- Sentinel-2 realiza las labores cada 5 días, pero con diferentes ángulos de visión.
- La resolución espacial de 10 m, 20 m y 60 m
- Política de datos libres



Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Resolución espacial - Sentinel

Bandas	Longitud de Onda Central (μm)	Resolución (m)
B1 – Coastal aerosol	0.443	60
B2 – Blue	0.490	10
B3 – Green	0.560	10
B4 – Red	0.665	10
B5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
B6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
B7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
B8 – NIR	0.842	10
B8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
B9 – Water Vapour	0.945	60
B10 – SWIR – Cirrus	1.375	60
B11 – SWIR	1.610	20
B12 – SWIR	2.190	20



Teledetección Satelital

Dr. Raimundo Sánchez
raimundo.sanchez@uai.cl
@raimun2

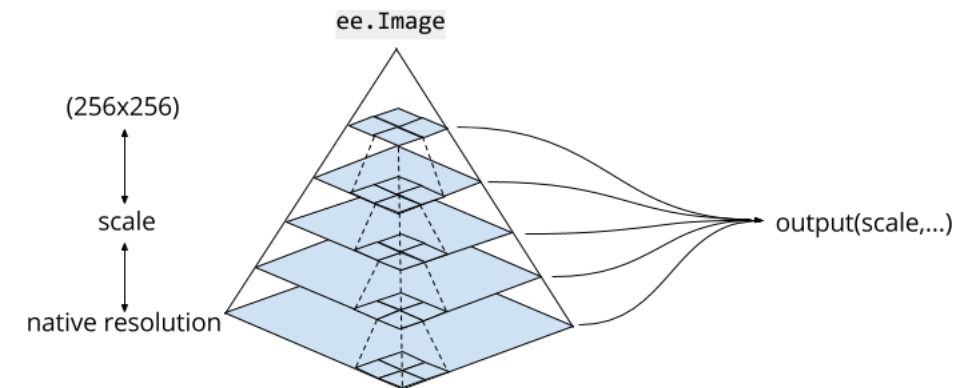
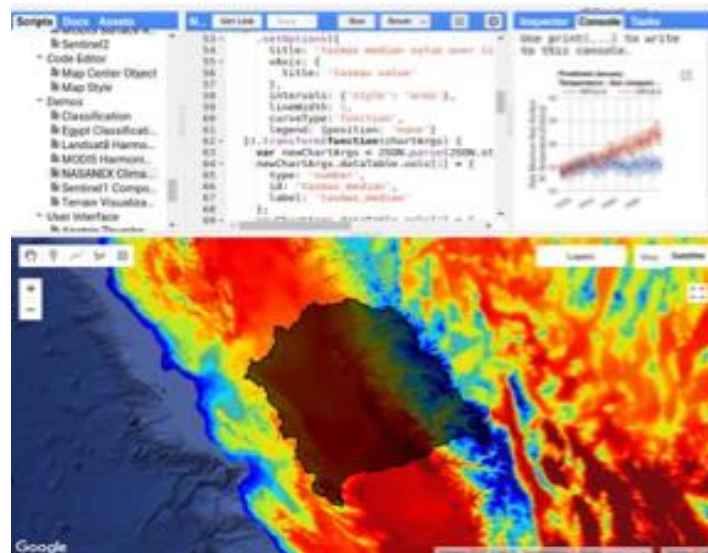
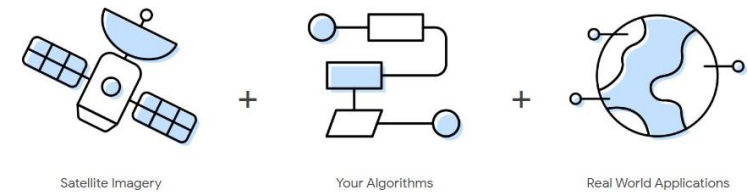


Google Earth Engine

Google Earth Engine

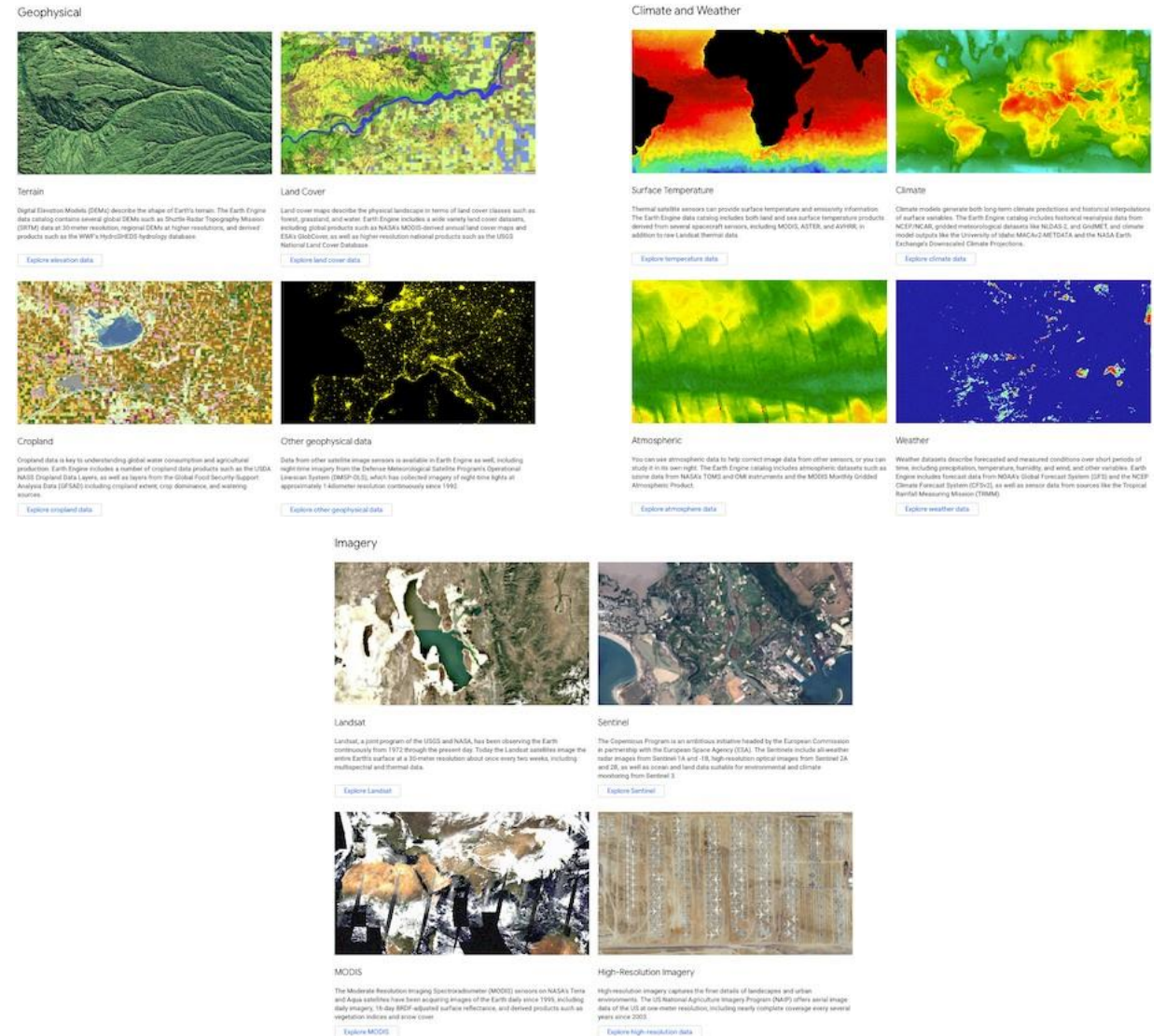


- Earth Engine es una plataforma a escala planetaria para datos y análisis de ciencias de la Tierra. (con la potencia de la infraestructura Google Cloud).
- Uso es libre pero no es código abierto.
 - Infraestructura Datos
 - API
 - Code Editor



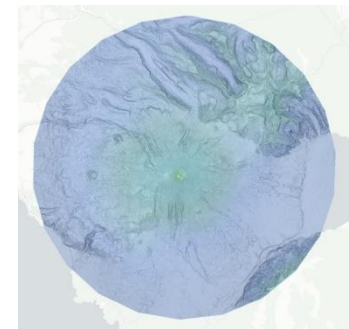
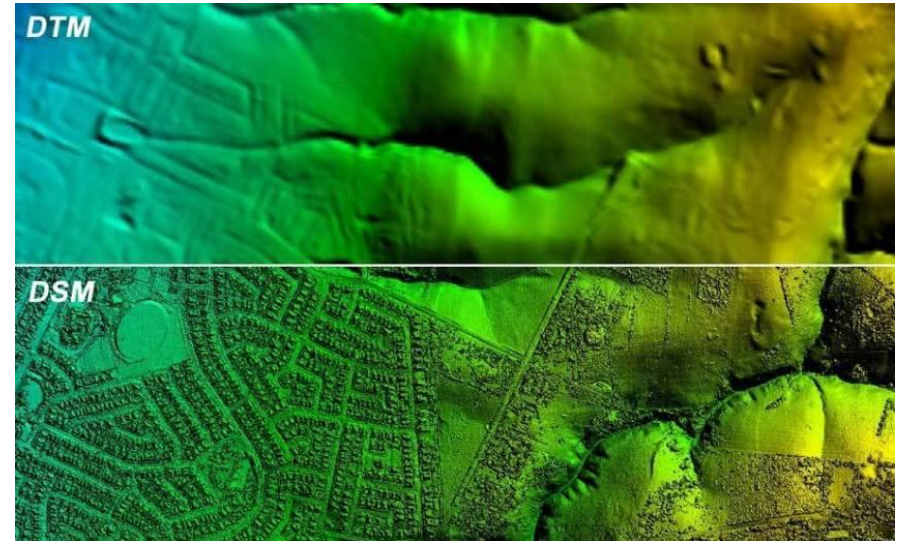
Catálogo de Recursos Satelitales

- Google tiene almacenado todas las imágenes de varios sensores (Landsat, Sentinel, MODIS, entre otros).
 - Estas bases de datos se actualizan a medida que se toman nuevas imágenes (cerca de 6000 nuevas escenas diarias).
 - Sin necesidad de descargar ni solicitar acceso a las imágenes.
- Landsat desde 1985
 - Sentinel 1/2/3
 - SRTM a ALOS
 - Datos Suelos
 - OpenLandMap
 - Dataset Climatológicos
 - Mucho mas (5 petabytes)



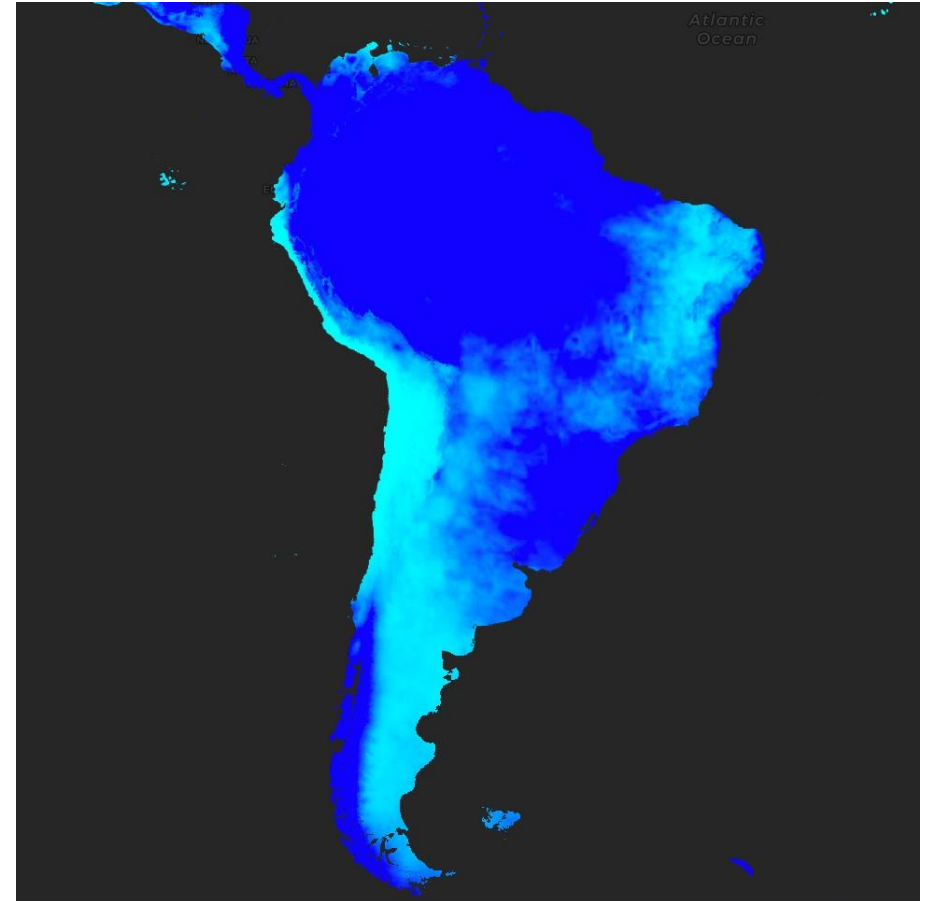
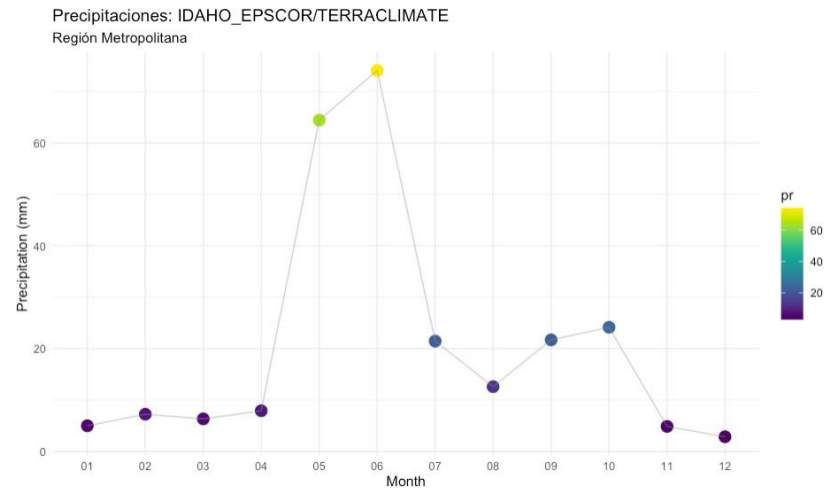
Modelo de Elevación Digital

- Modelo Digital de Superficie.
- Resolución Espacial: 30 metros



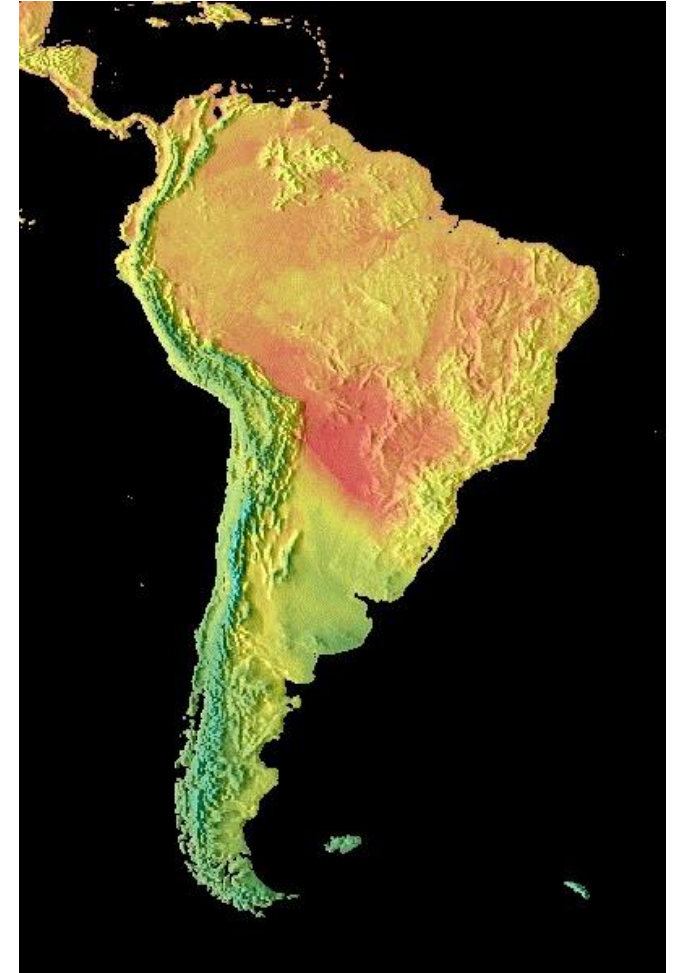
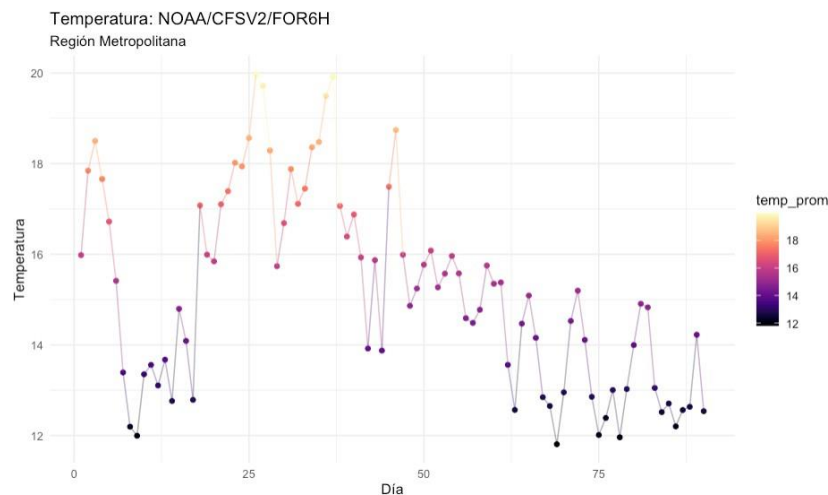
Precipitaciones

- TerraClimate es un conjunto de datos de clima mensual y balance hídrico climático para superficies terrestres globales. Universidad de California Merced.
- Resolución Espacial: 4625 metros
- Resolución Temporal: 1 mes
- Disponible: 1958-01-01 - 2019-12-01



Modelo de Temperatura

- NCEP Climate Forecast System es un modelo totalmente acoplado que representa la interacción entre la atmósfera terrestre, los océanos, la tierra y el hielo marino. Desarrollado en el Environmental Modeling Center (EMC) en NCEP.
- Resolución Espacial: 22.2 Km
- Resolución Temporal: 6 horas
- Disponible: 1979-01-01 - 2020-11-25



Monitoreo NO₂ (Dióxido de Nitrógeno)

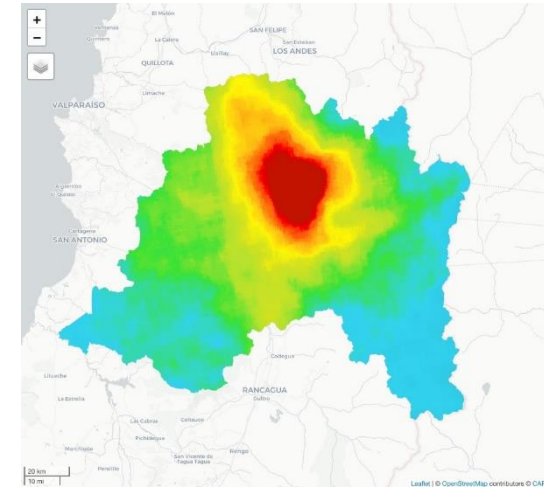
Información de Insumo:

Sentinel-5P NRTI NO₂: Near Real-Time Nitrogen Dioxide

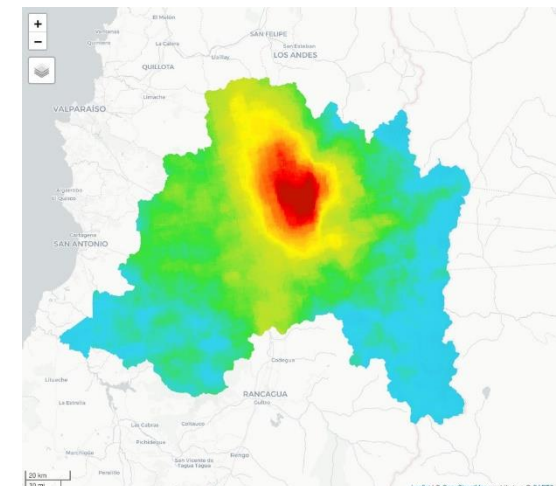
Resolución Espacial: 1Km (variable)

Disponible: 2018-07-10 - Present

Uso: Monitoreo de actividades antropogénicas, tales como la combustión de combustibles fósiles y la quema de biomasa; y procesos naturales: incendios forestales, rayos y procesos microbiológicos en los suelos. El uso de las imágenes de NO₂ permite monitorear la contaminación del aire en forma detallada.



MAR-ABR 2019



MAR-ABR 2020



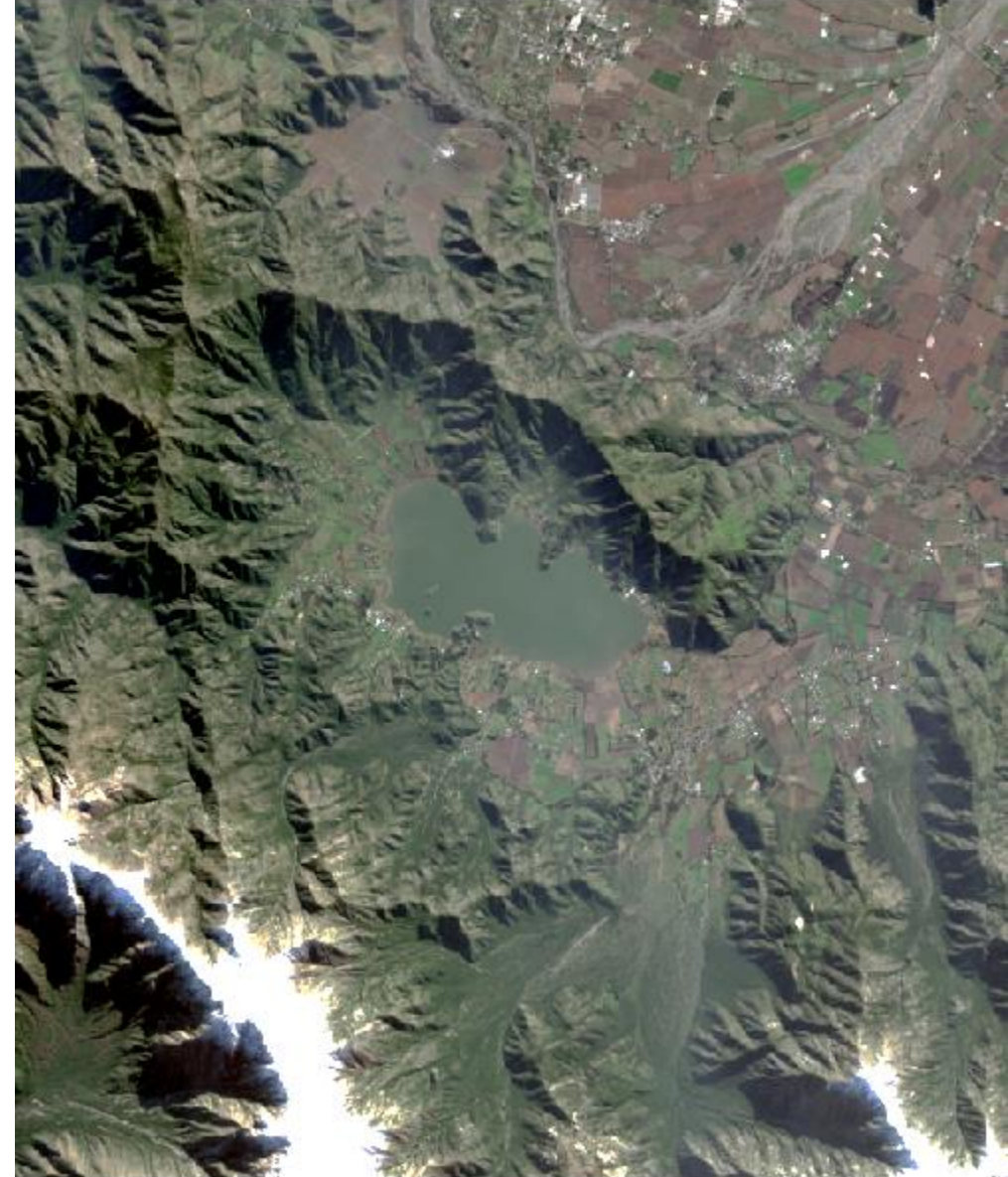
Google Earth Engine

Índices espectrales

Dr. Raimundo Sánchez
raimundo.sanchez@uai.cl
@raimun2

Índices espectrales

- Son indicadores que se construyen en base a diferentes bandas de imágenes satelitales
- Cada banda captura una porción del espectro de luz
- La reflectancia de los elementos en la tierra varia según el tipo de elemento y según banda

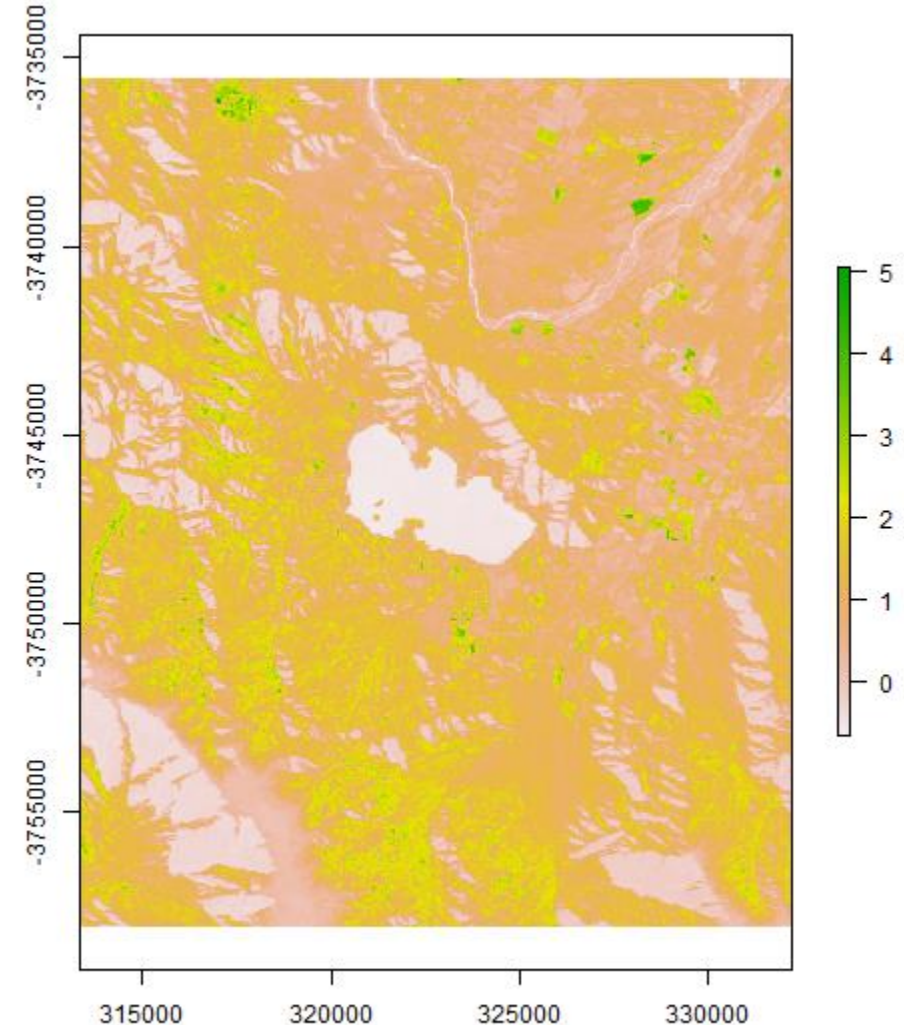


Green Coverage Index (GCI)

En la teledetección, el Índice de Clorofila se utiliza para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas.

El contenido de clorofila refleja el estado fisiológico de la vegetación; disminuye en las plantas estresadas y, por lo tanto, puede utilizarse como medida de la salud de las plantas ([EOS, 2019](#)).

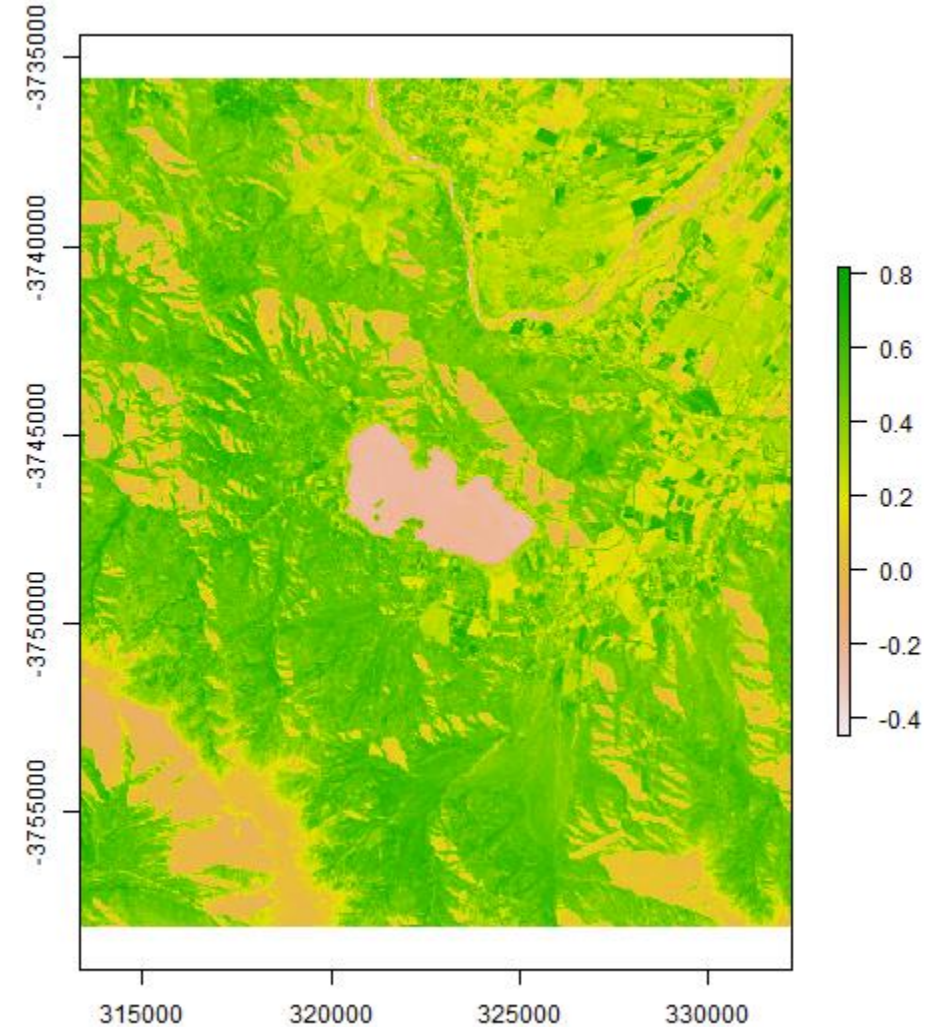
$$\text{GCI} = (\text{NIR}) / (\text{Green}) - 1$$



Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

El Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) está altamente asociado con la densidad de vegetación. Los valores altos de NDVI corresponden a una vegetación más densa y saludable ([GU, 2019](#)).

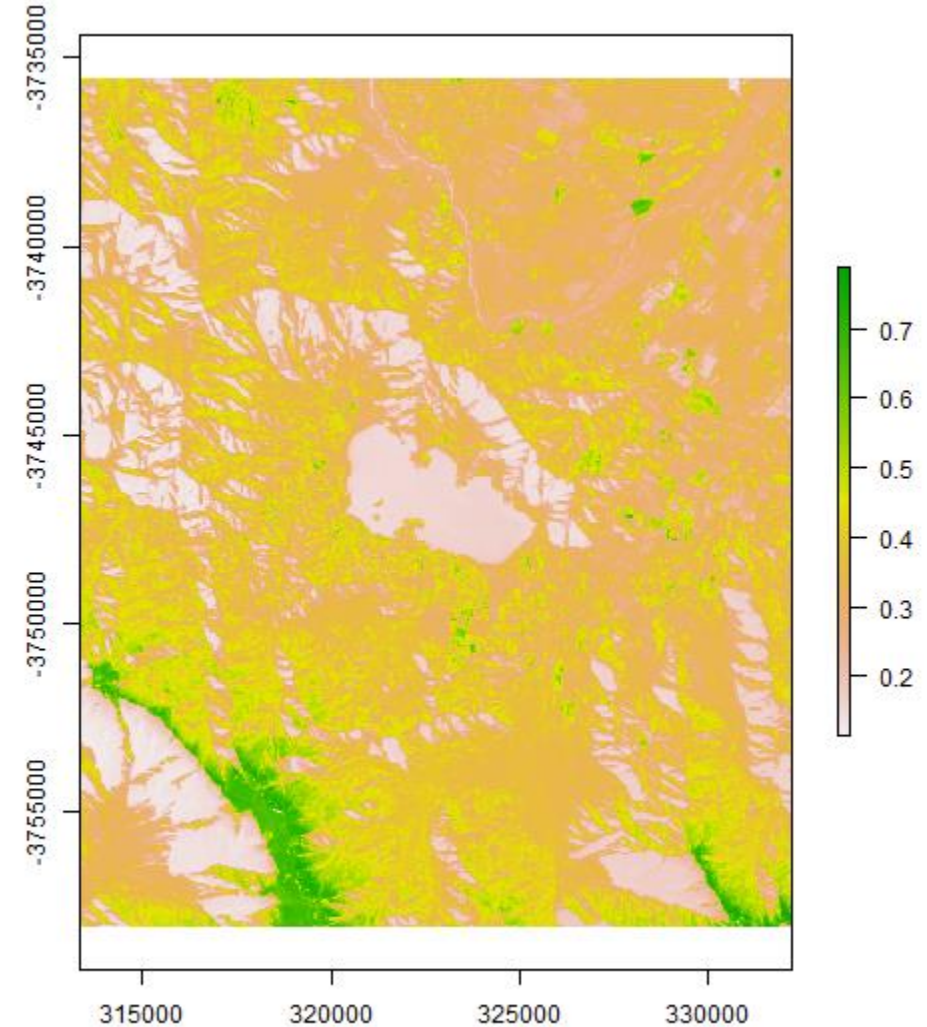
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$



Advanced Vegetation Index (AVI)

El Índice de Vegetación Avanzada (AVI) se utiliza para monitorear las variaciones de cultivos y bosques a lo largo del tiempo. Mediante la combinación multitemporal del AVI y el NDVI, los usuarios pueden discriminar diferentes tipos de vegetación y extraer características/parámetros fenológicos ([GU, 2019](#)).

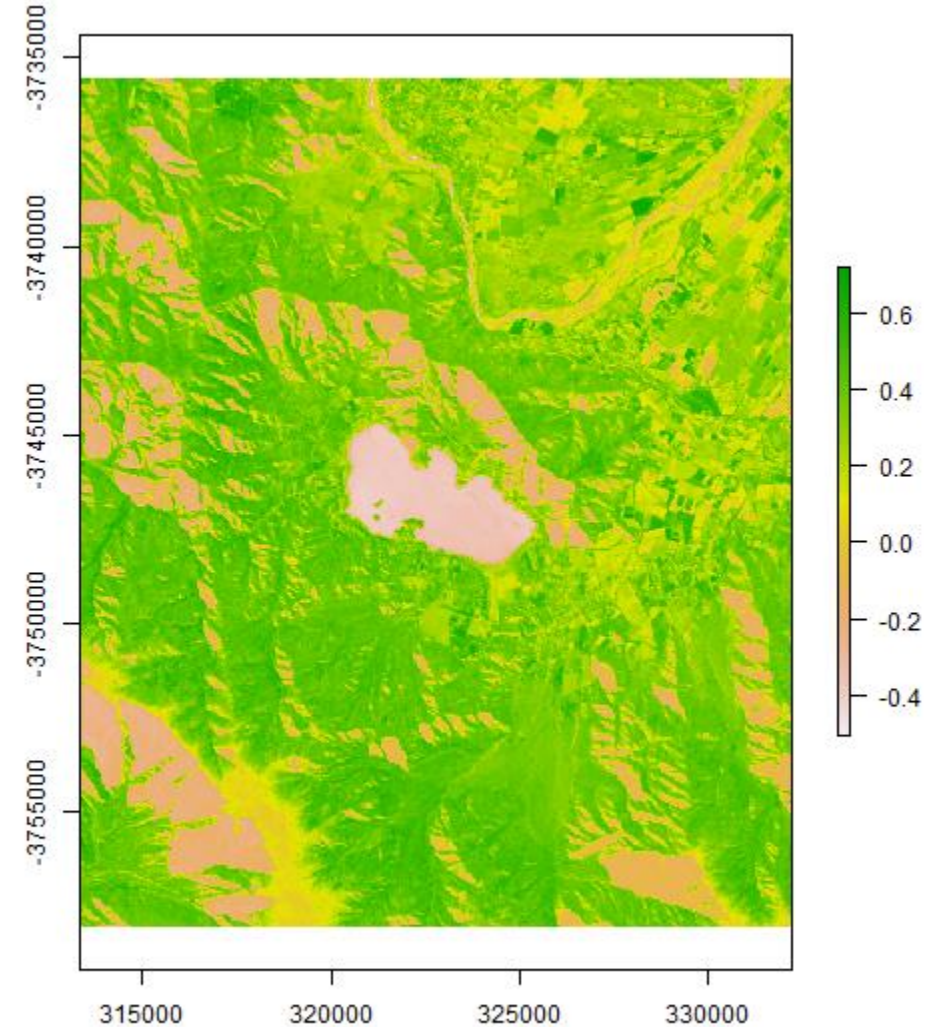
$$AVI = [NIR * (1-Red) * (NIR-Red)]^{1/3}$$



Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)

El Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) es una versión modificada del NDVI para que sea más sensible a la variación del contenido de clorofila en el cultivo. GNDVI se utiliza para identificar diferentes tasas de concentración de clorofila, que está altamente correlacionada con el nitrógeno, en dos especies de plantas

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN})$$



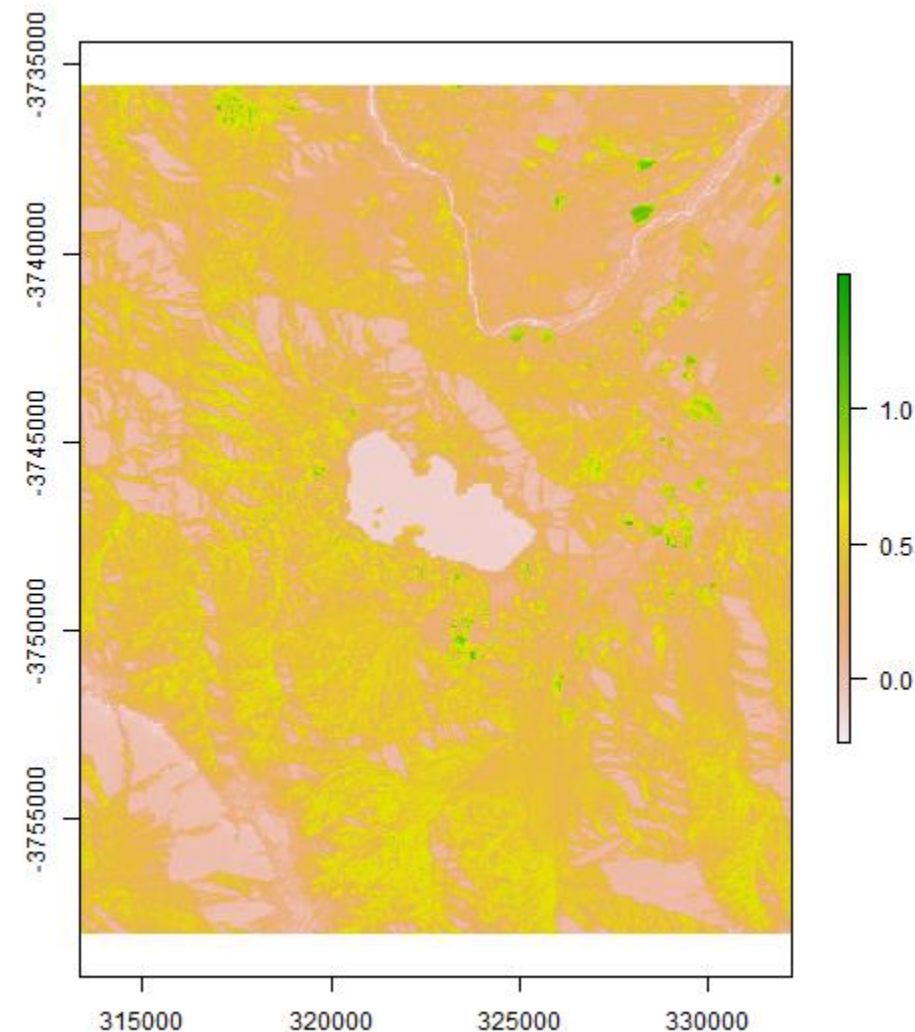
Enhanced Vegetation Index (EVI)

El Índice de Vegetación Mejorado (EVI) corrige algunas condiciones atmosféricas y el ruido de fondo y es más sensible en áreas con vegetación densa.

Incorpora un valor «L» para ajustar el fondo, valores «C» como coeficientes de resistencia atmosférica y valores de la banda azul (B).

Estas mejoras permiten el cálculo de índices como una relación entre los valores R y NIR, a la vez que reducen el ruido de fondo, el ruido atmosférico y la saturación en la mayoría de los casos ([USGS, 2019](#)).

$$\text{EVI} = G1 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + C1 * \text{RED} - C2 * \text{BLUE} + L1))$$

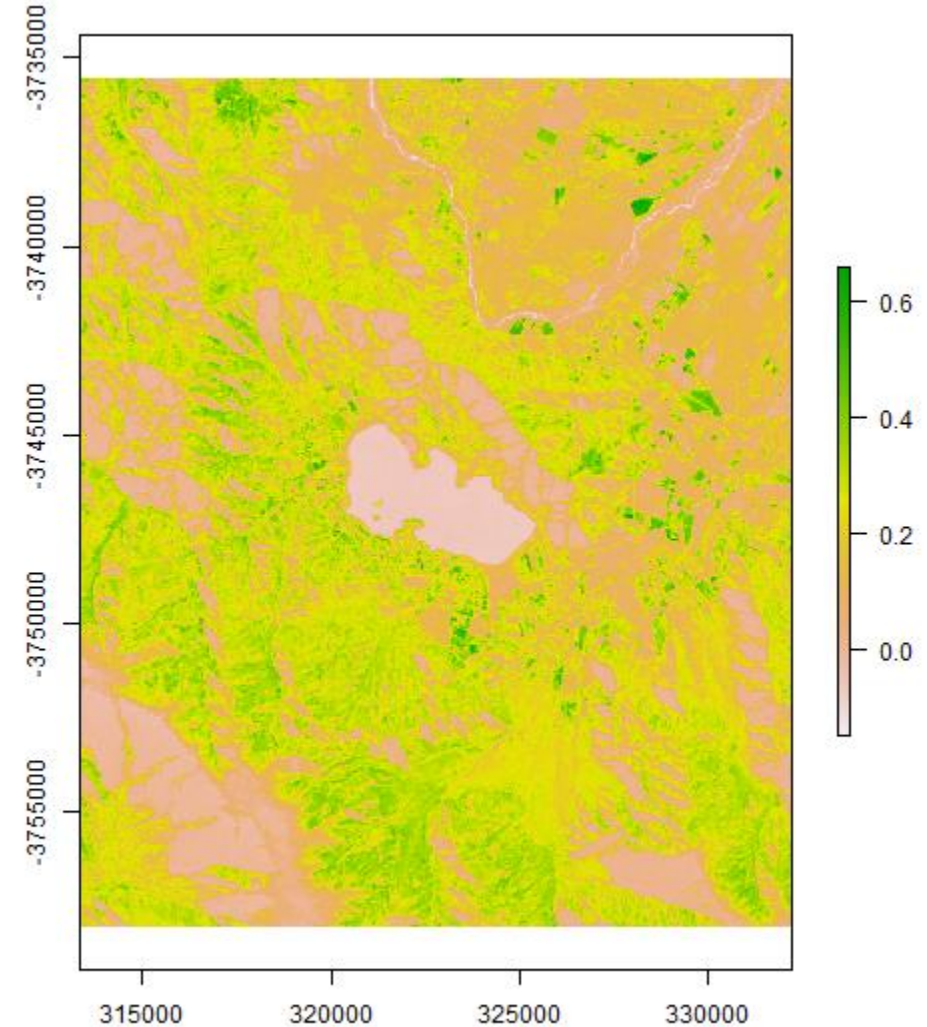


Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) se utiliza para corregir el NDVI por la influencia del brillo del suelo en **áreas donde la cobertura vegetativa es baja**.

El SAVI derivado de la reflectancia de la superficie del Landsat se calcula como una relación entre los valores R y NIR con un factor de corrección de la luminosidad del suelo (L) definido en 0.5 para acomodar la mayoría de los tipos de cobertura del suelo ([USGS, 2019](#)).

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + L)) * (1 + L)$$

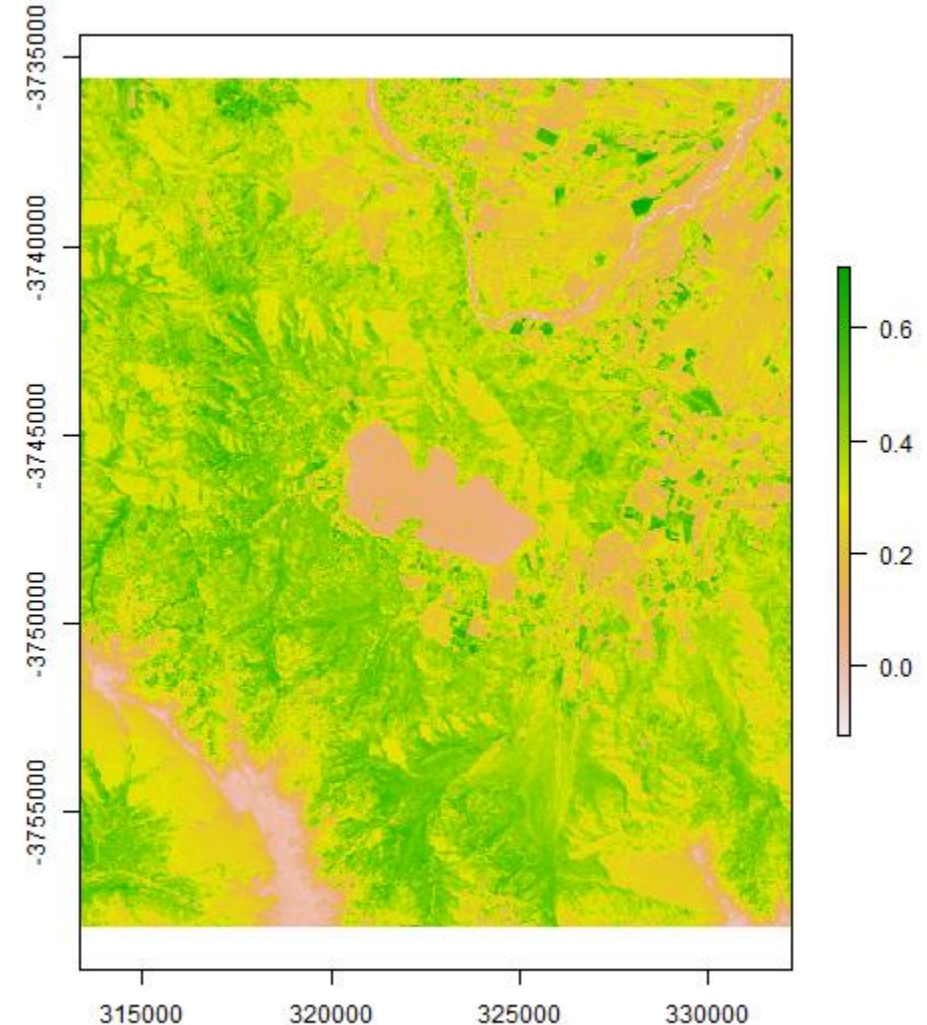


Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)

Es el primer índice de vegetación que es relativamente propenso a factores atmosféricos (como el aerosol).

La fórmula del índice ARVI inventada por Kaufman y Tanré es básicamente NDVI corregida para los efectos de dispersión atmosférica en el espectro de reflectancia rojo utilizando las medidas en longitudes de onda azules ([EOS, 2019](#)).

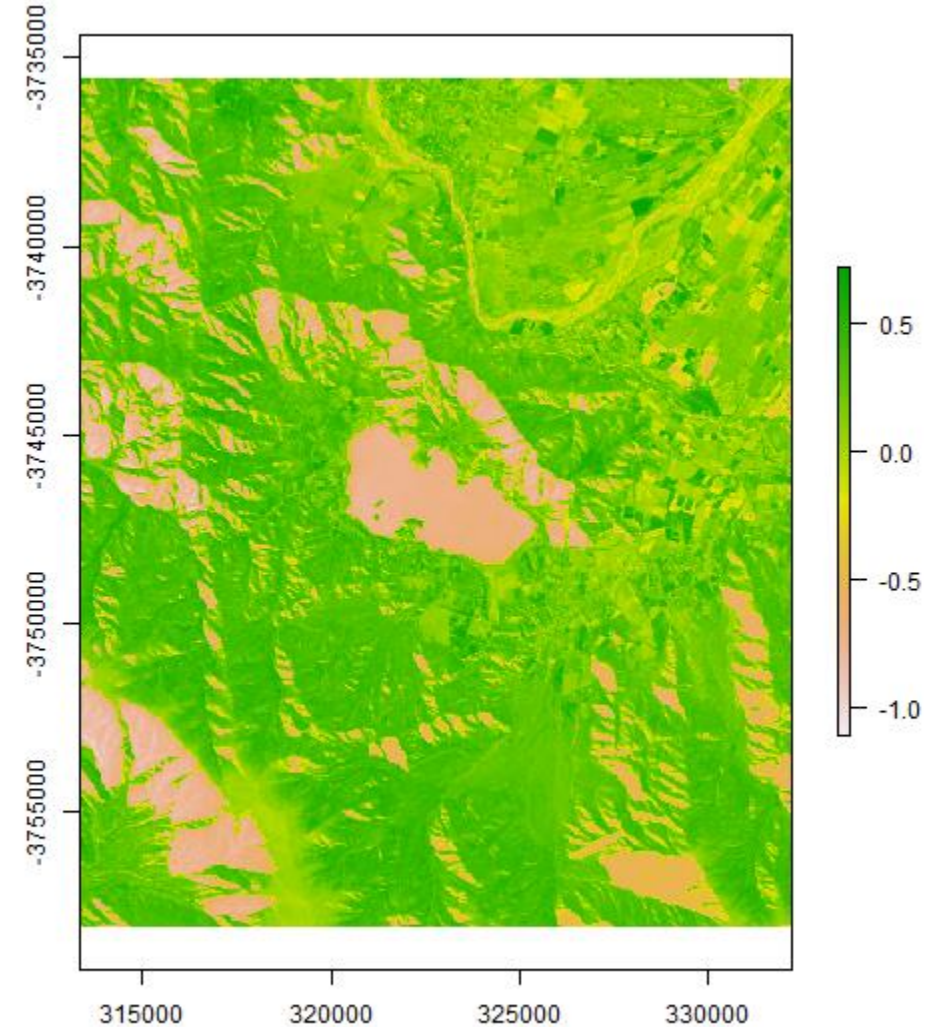
$$\text{ARVI} = (\text{NIR} - (2 * \text{Red}) + \text{Blue}) / (\text{NIR} + (2 * \text{Red}) + \text{Blue})$$



Structure Insensitive Pigment Index (SIPI)

El Índice de Pigmentación Insensible a la Estructura (SIPI) es bueno para el análisis de la vegetación con estructura variable. Estima la relación entre carotenoides y clorofila ([EOS, 2019](#)).

$$\text{SIPI} = (\text{NIR} - \text{Blue}) / (\text{NIR} - \text{Red})$$

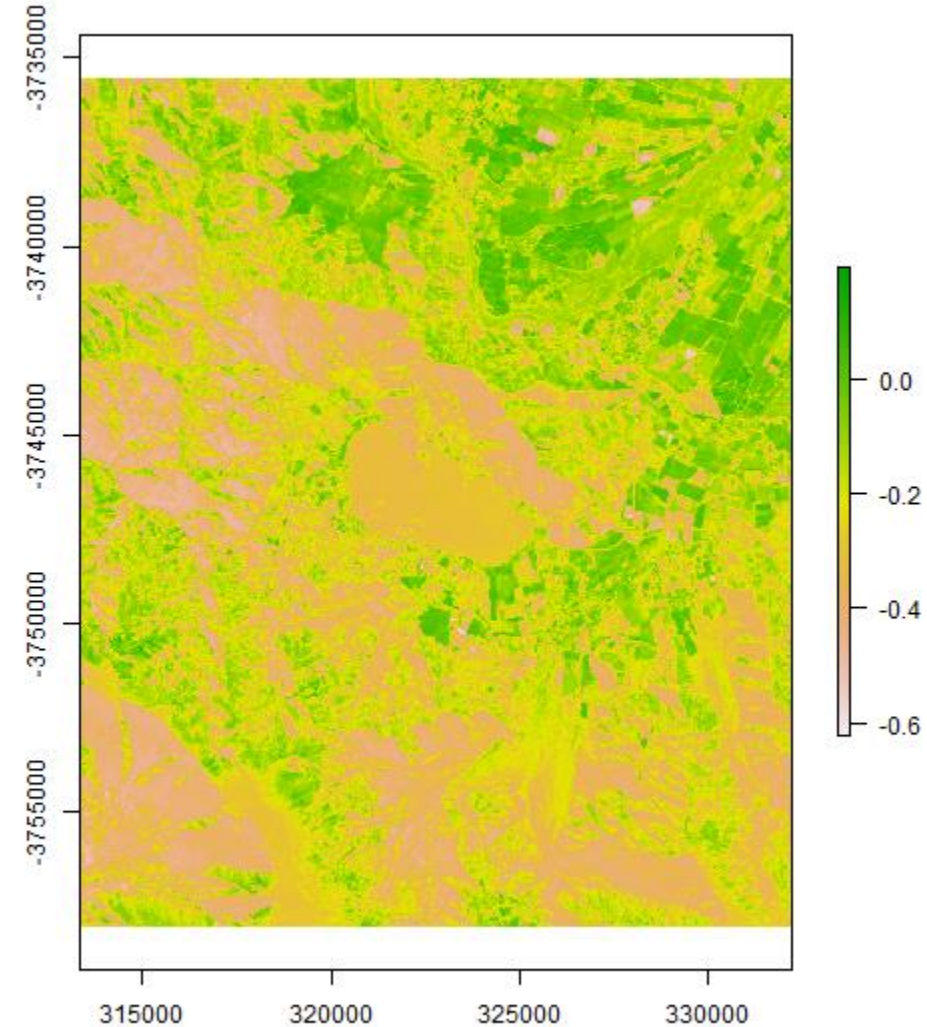


Bare Soil Index (BSI)

El Índice de Suelo Desnudo (BSI) utilizado para capturar las variaciones del suelo.

Las bandas de infrarrojos de onda corta y las bandas espectrales rojas se utilizan para cuantificar la composición mineral del suelo, mientras que las bandas azules y las bandas espectrales de infrarrojos cercanos se utilizan para mejorar la presencia de vegetación ([GU, 2019](#)).

$$\text{BSI} = ((\text{Red} + \text{SWIR}) - (\text{NIR} + \text{Blue})) / ((\text{Red} + \text{SWIR}) + (\text{NIR} + \text{Blue}))$$



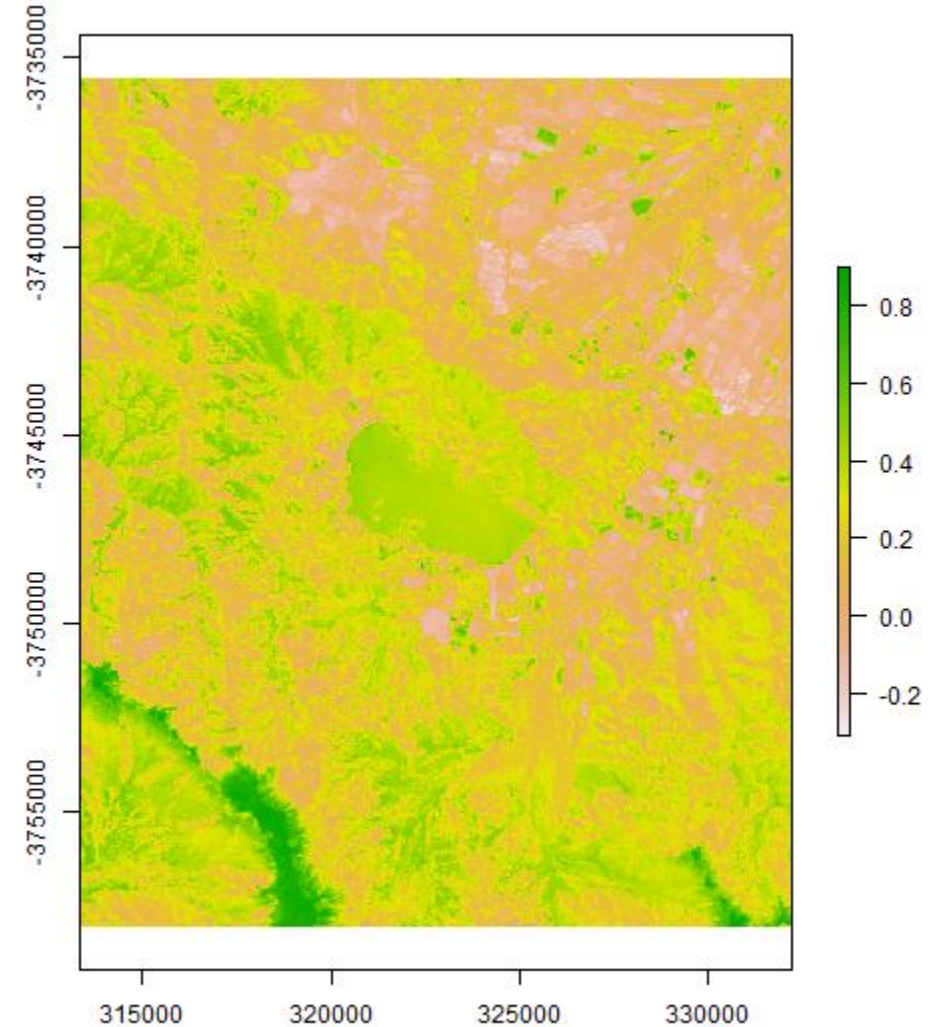
Índices hidrológicos

Normalized Difference Moisture Index (NDMI)

El Índice de Diferencia Normalizada de Humedad (NDMI) se utiliza para determinar el contenido de agua de la vegetación.

Se calcula como una relación entre los valores NIR y SWIR de forma tradicional ([USGS, 2019](#)).

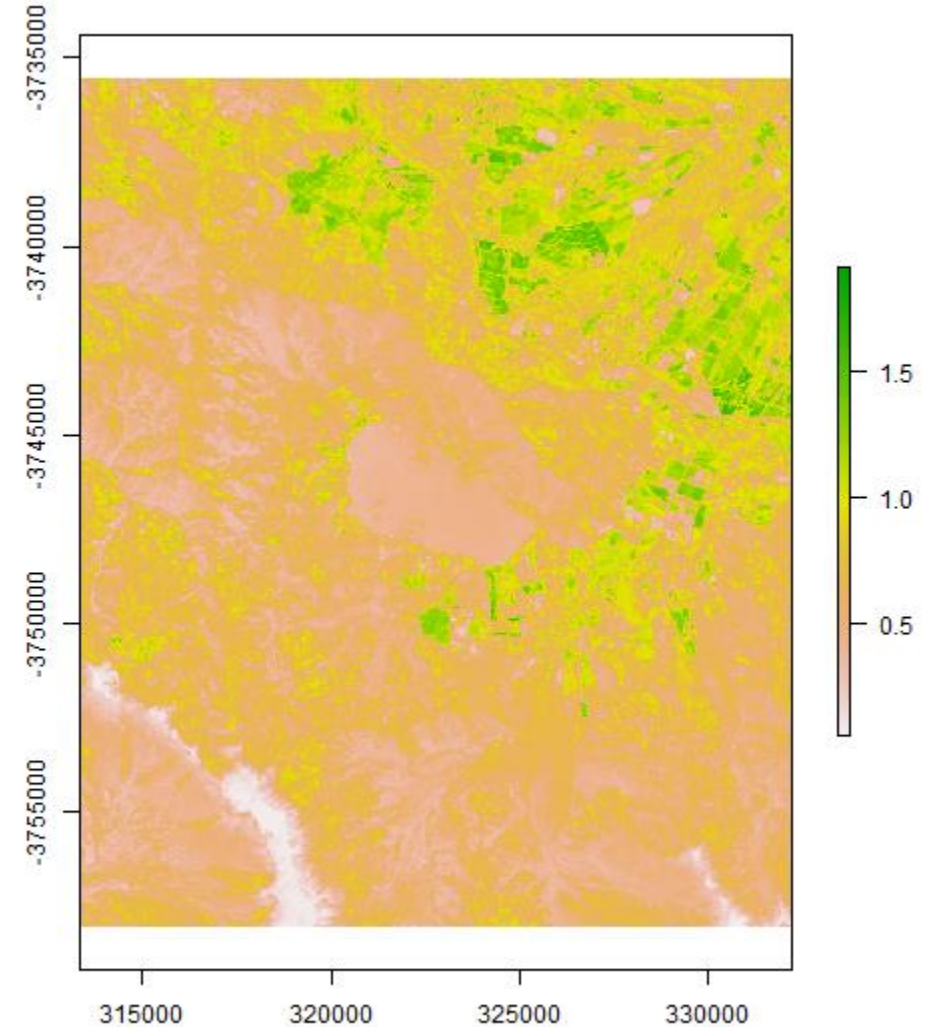
$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$



Moisture Stress Index (MSI)

El Índice de Estrés Hídrico se utiliza para el análisis de estrés, la predicción de la productividad y el modelado biofísico. Los valores más altos del índice indican un mayor estrés hídrico de las plantas y, un menor contenido de humedad del suelo. Los valores de este índice van de 0 a más de 3, siendo el rango común para la vegetación verde de 0.2 a 2 ([Welikhe et al., 2017](#)).

$$\text{MSI} = \text{SWIR } 1 / \text{NIR}$$

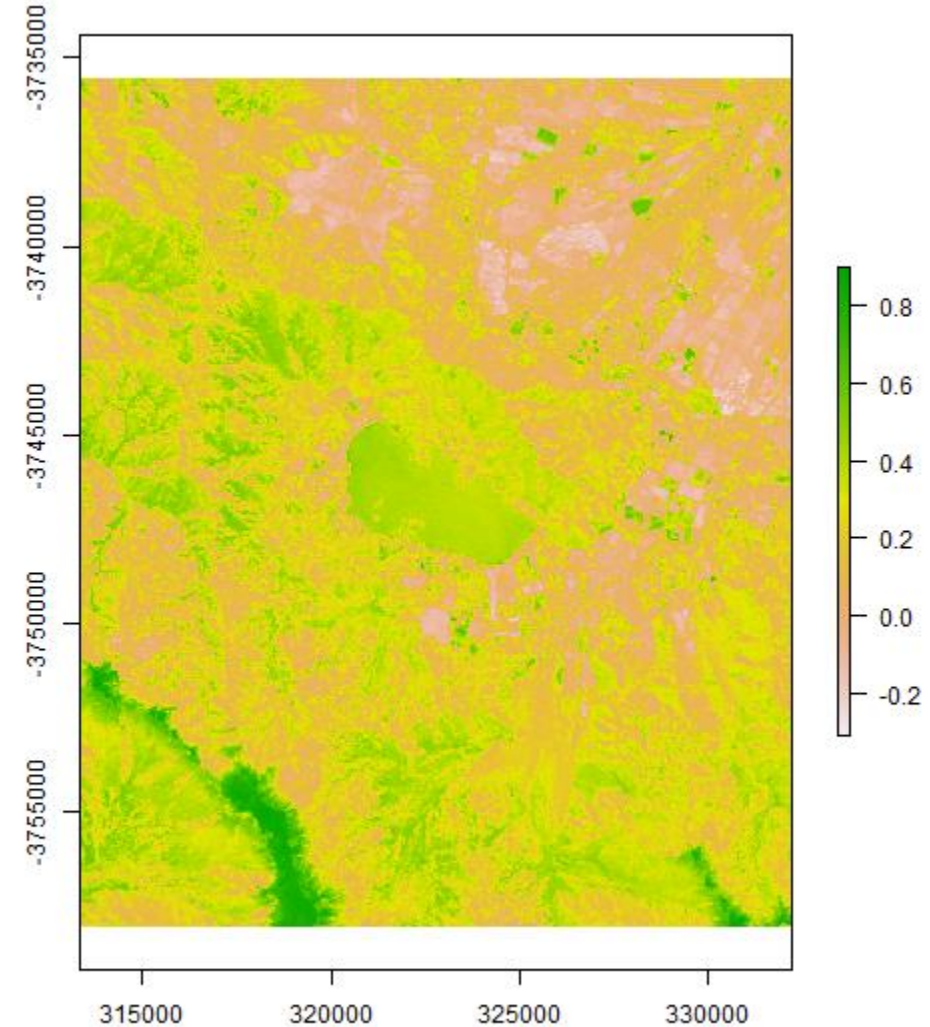


Normalized Burned Ratio Index (NBRI)

Los incendios forestales son un fenómeno natural o provocado por el hombre que destruye los recursos naturales, el ganado vivo, desequilibra el medio ambiente local, libera una gran cantidad de gases de efecto invernadero, etc.

El Índice de Calcinación Normalizado (NBRI) aprovecha las bandas espectrales de infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta, que son sensibles a los cambios en la vegetación, para detectar áreas quemadas y monitorear la recuperación del ecosistema ([GU, 2019](#)).

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$



Normalized Difference Water Index (NDWI)

El Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) se utiliza para el análisis de masas de agua.

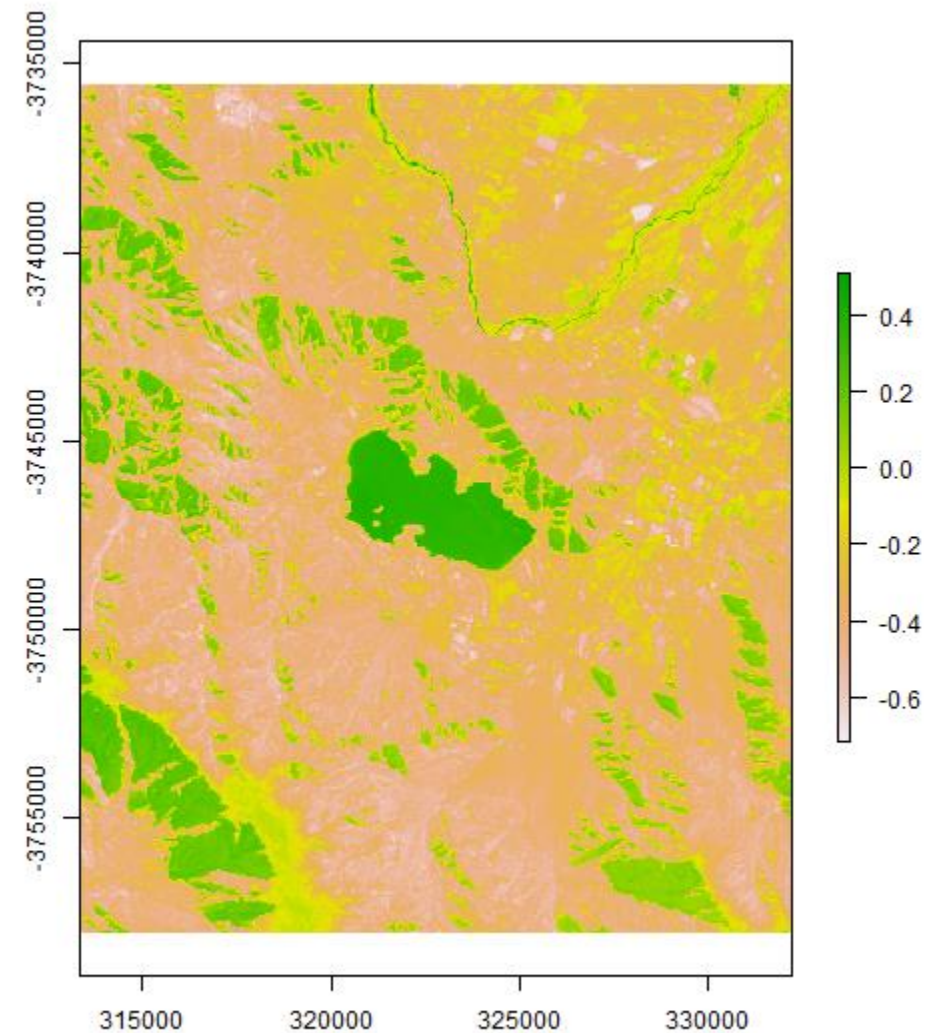
El índice utiliza bandas verdes y casi infrarrojas de imágenes de teledetección.

El NDWI puede mejorar la información sobre el agua de manera eficiente en la mayoría de los casos.

Es sensible a la acumulación de tierra y resulta en la sobreestimación de los cuerpos de agua.

Los productos NDWI pueden ser usados en conjunto con los productos de cambio NDVI para evaluar el contexto de las áreas de cambio aparente ([Bahadur, 2018](#)).

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{NIR}) / (\text{GREEN} + \text{NIR})$$

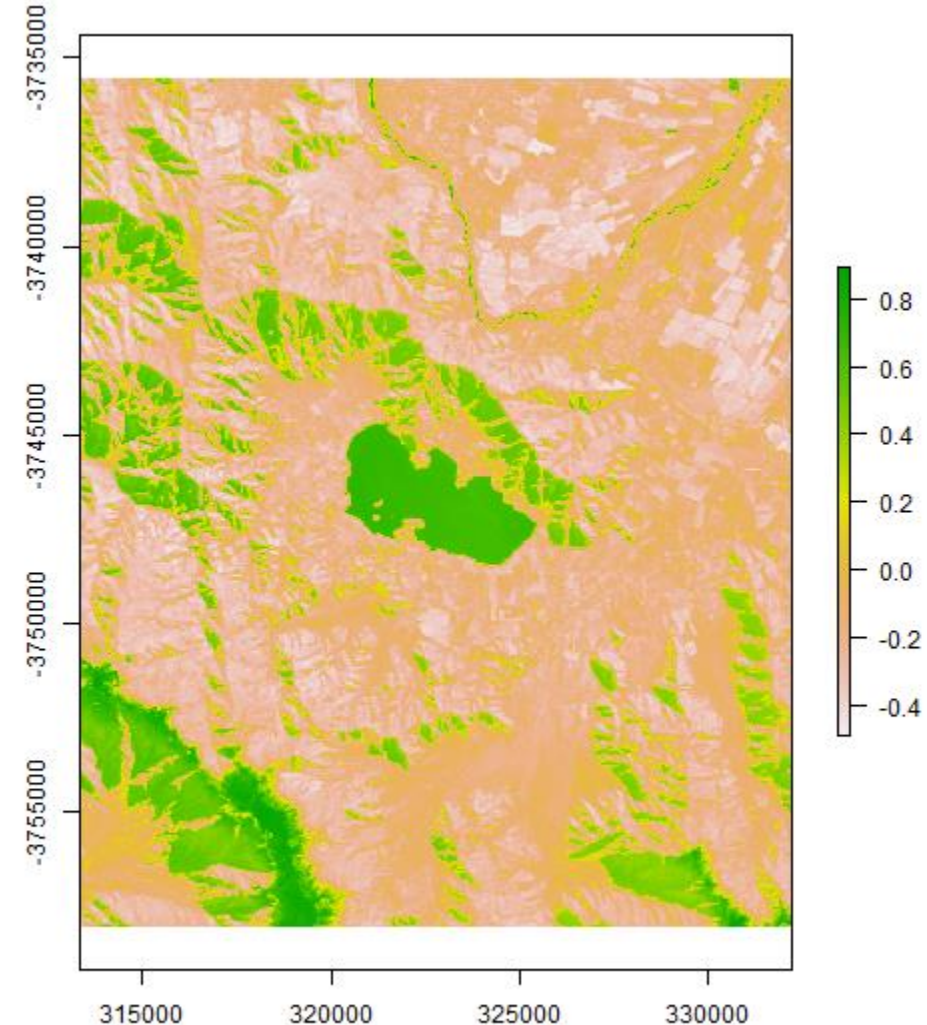


Normalized Difference Snow Index (NDSI)

El Índice Diferencial Normalizado de Nieve (NDSI) es un indicador numérico que muestra la cobertura de nieve en áreas terrestres. Las bandas espectrales de infrarrojos verdes y de onda corta (SWIR) se utilizan dentro de esta fórmula para trazar el mapa de la cubierta de nieve.

Dado que la nieve absorbe la mayor parte de la radiación incidente en el SWIR mientras que las nubes no lo hacen, esto permite a NDSI distinguir la nieve de las nubes. Esta fórmula se utiliza comúnmente en la aplicación de mapas de cobertura de nieve y hielo, así como en el monitoreo de glaciares ([Bluemarblegeo, 2019](#)).

$$\text{NDSI} = (\text{Green} - \text{SWIR}) / (\text{Green} + \text{SWIR})$$

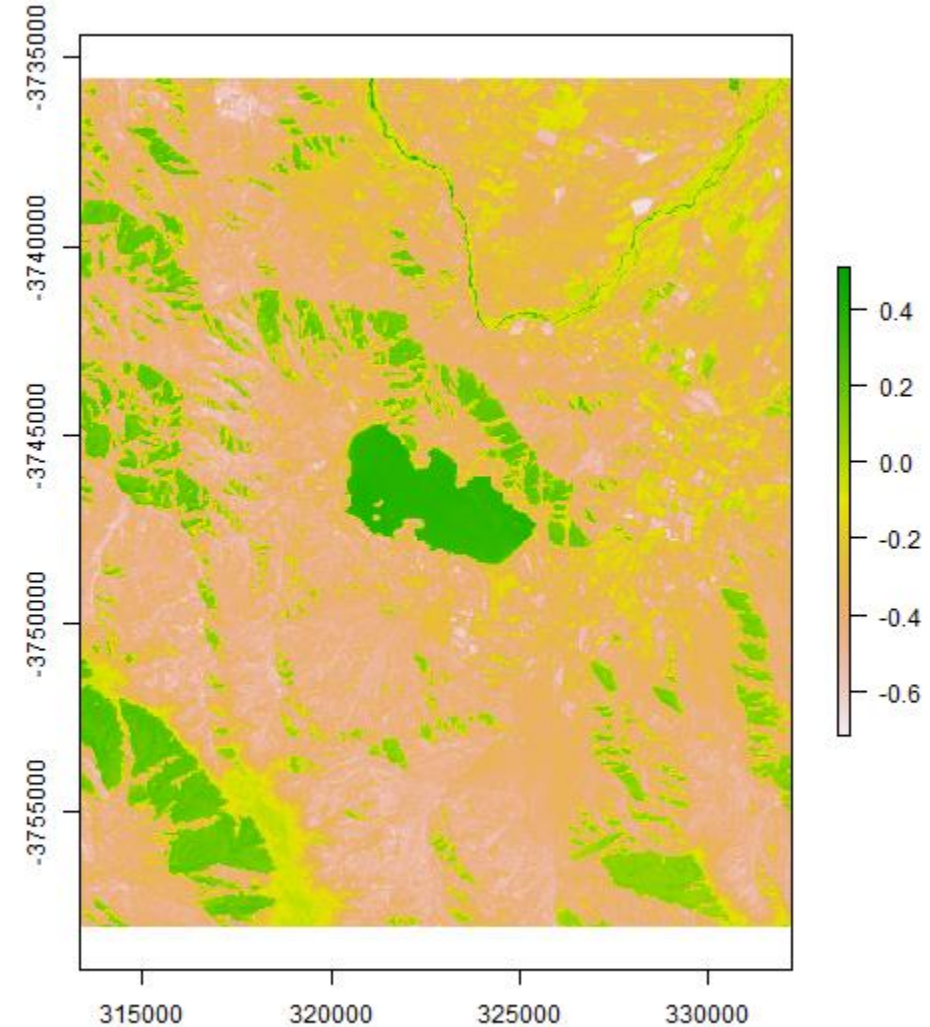


Normalized Difference Glacier Index (NDGI)

El Índice Glaciar Diferencial Normalizado (NDGI) se utiliza para ayudar a detectar y monitorear glaciares utilizando las bandas espectrales verde y roja.

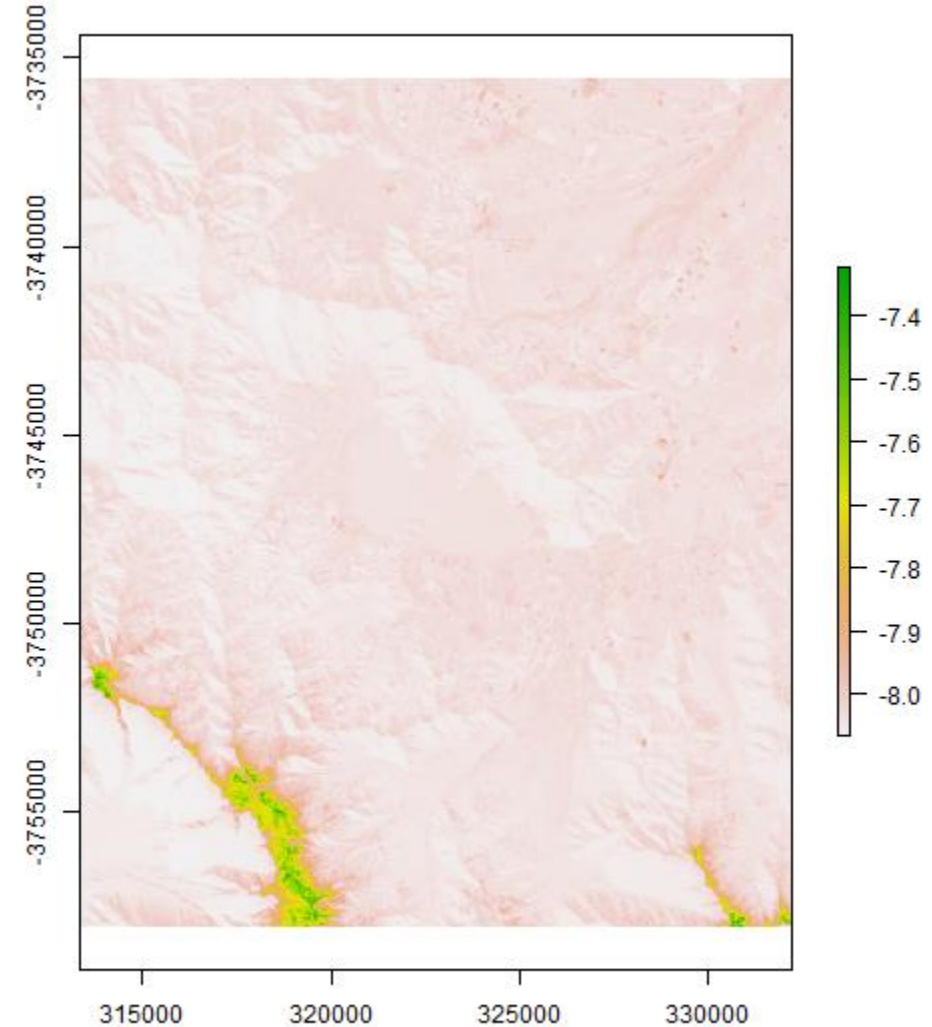
Esta ecuación se utiliza comúnmente en la detección de glaciares y en aplicaciones de monitoreo de glaciares ([Bluemarblegeo, 2019](#)).

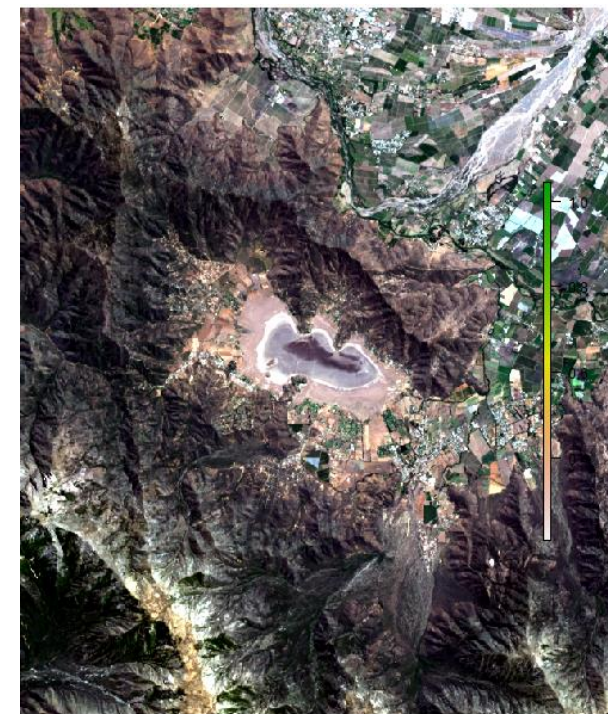
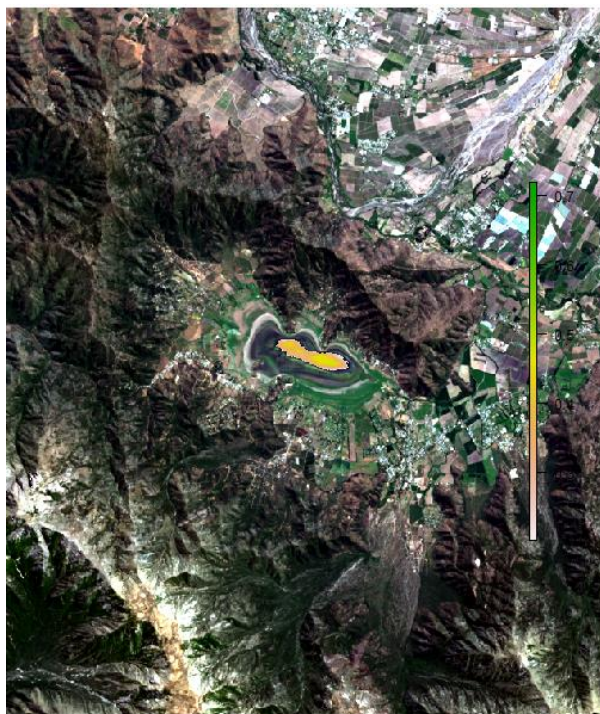
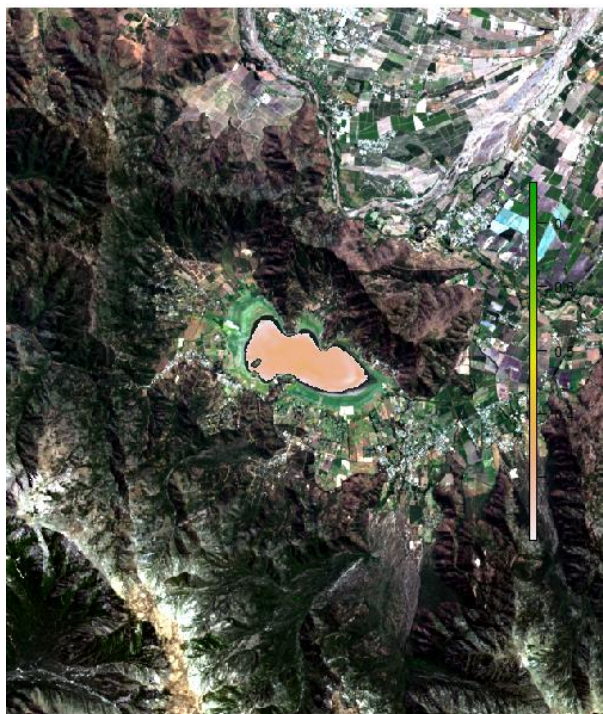
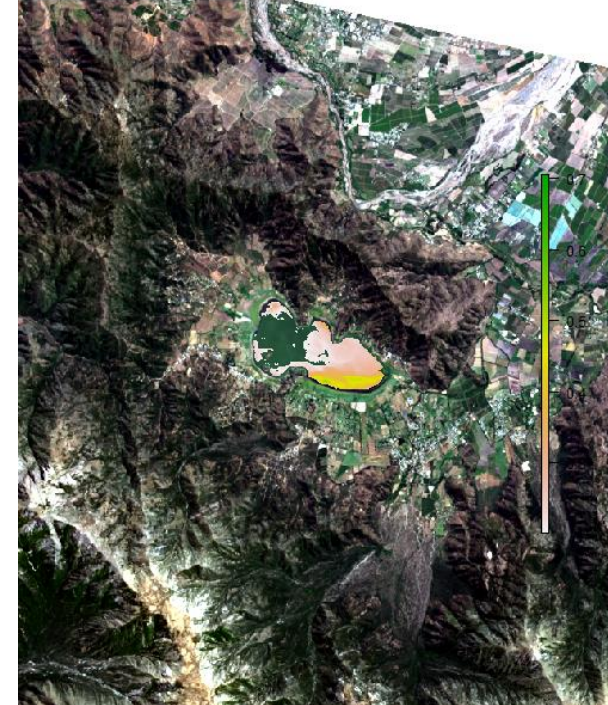
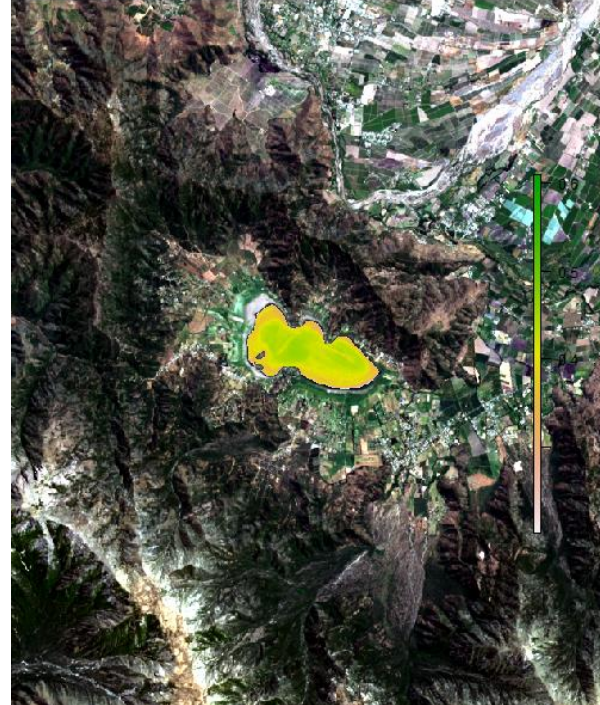
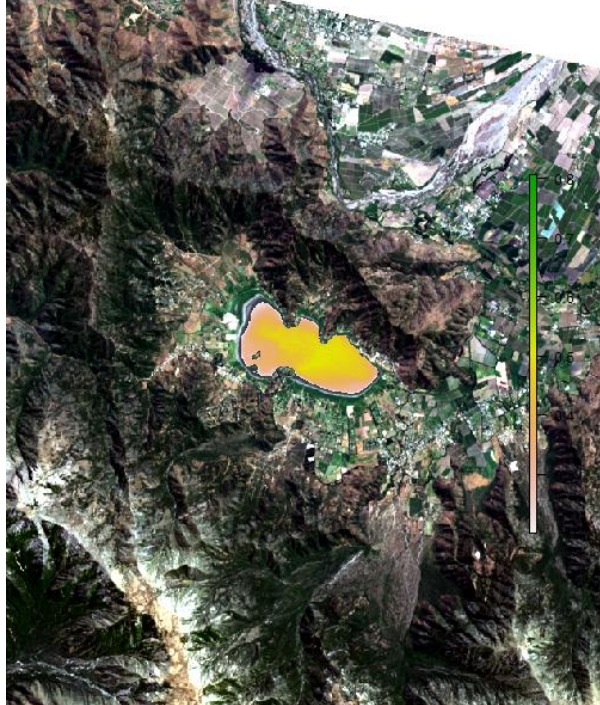
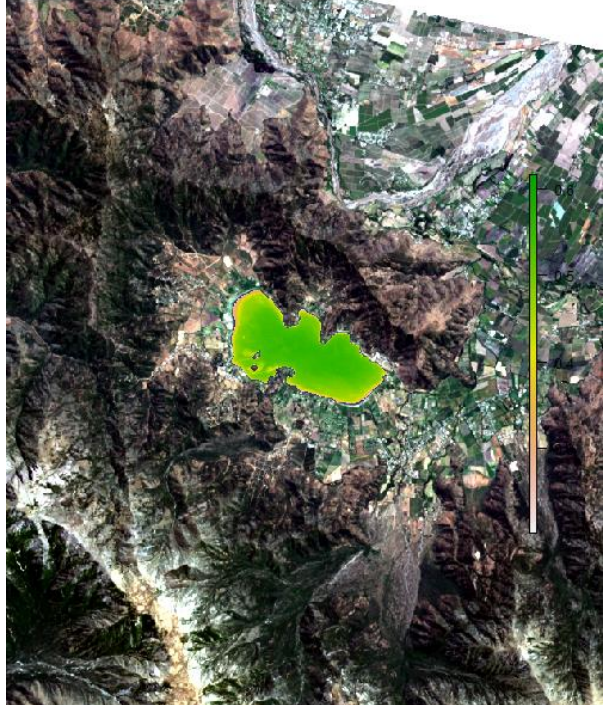
$$\text{NDGI} = (\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green})$$



Otros índices Ambientales

Clorofila a (Ca)	$Ca = -3,533 + 0,455L_4 + 0,321L_5$	Ca = Clorofila a (mg/m^3) L_4 = Radiancia banda OLI4 L_5 = Radiancia banda OLI5
Sólidos en suspensión (SS)	$SS = -8,093 + 0,278L_3 + 0,429L_4$	SS = Sólidos en suspensión (mg/l) L_3 = Radiancia banda OLI3 L_4 = Radiancia banda OLI4
Turbidez (Tu)	$Tu = -8,20 + 0,266 L_3 + 0,716L_4 + 0,094L_5$	Tu = Turbidez (Unidades Nefelométrica de Turbidez, UNT) L_i = Radiancia bandas OLI ($i = 3,4,5$)





Índices espectrales

Dr. Raimundo Sánchez
raimundo.sanchez@uai.cl
@raimun2