

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

# Facultad de Recursos Naturales Renovables

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal

**GEOMATICA AMBIENTAL SRL** 

**CONTRACTOR OF CLASIFICACIÓN SEMI-AUTOMÁTICO** 

# **TELEDETECCIÓN ESPACIAL**

LANDSAT, SENTINEL2, ASTER L1T y MODIS



TEORÍA

Ing. Nino Frank BRAVO MORALES Especialista Teledetección



# TEORÍA – TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS PRIMERA EDICIÓN

Se prohíbe la reproducción parcial o total del presente documento, su tratamiento informático, la transmisión por cualquier forma o medio electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin previa autorización de los titulares del Copyright ©.

Derecho Reservados. Copyright ©.

©2017 GEOMÁTICA AMBIENTAL S.R.L. Jr. Iquitos Nº 960 Tingo María – Huánuco – Perú. Celular: +51-995664488 Email: <u>geoambiental2030@gmail.com</u> Página: <u>https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/</u>

©2017 Especialista teledetección Nino Frank Bravo Morales ©2017 GEOMÁTICA AMBIENTAL S.R.L. Huánuco – Perú Celular: +51-995664488 Email: geosigbravo@gmail.com Facebook: https://web.facebook.com/NINOBRAVOM

# PRÓLOGO PRIMERA EDICIÓN TEORÍA – TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS

Es un honor compartir este pequeño manual a lo largo de todo este tiempo, fruto de muchas jornadas laborales en diferentes instituciones públicas y privadas en los últimos siete años y de compartir mis conocimientos a la gran comunidad de ingeniería, interesados en conocer y aprender un software libre tan versátil y potente, como es el QGIS.

Es muy gratificante saber que son muchas las personas a las que he llegado a enseñar de forma presencial e virtual en los temas de Teledetección, que se encuentran muy satisfechas por la enseñanza personalizada; y no es para más, mencionar que me siento muy a gusto de lo compartido mis enseñanzas en este mundo muy competitivo.

Es así, que este texto nació bajo el nombre de: Teledetección espacial LandSat, Sentinel-2, ASTER L1T y MODIS, que impartí en la empresa GEOMATICA AMBIENTAL S.R.L, que dio a disponibilidad de alcanzar a muchos estudiantes y profesionales ligados a la ingeniería, por medio de las diferentes enseñanzas de forma directa e indirecta.

Agradecer primeramente a Dios por darme la vida, por acompañarme siempre en las circunstancias duras de la vida, también a mis padres **BRAVO TRUJILLO INOCENCIO** Y **MORALES BALTAZAR GENOVEBA**, por el amor que me tienen, por siempre aconsejarme y mostrarme las cosas duras de la vida, valorar su abnegado sacrificio por hacer de mí una persona de bien y ser mis guías en la formación de mi carrera profesional. A mi esposa, hijos, hermanas, tíos, y demás familiares por su cariño y gratitud, pensar en ello represento estimulo indeclinable de superación.

Agradecer a **Luca Congedo** por su tiempo y creación del Plugin Semi-Autimatic Classification (SCP siglas en ingles) de libre acceso en QGIS, que nos permite la clasificación semi-automática (clasificación supervisada), Pre-procesamiento, Post-Procesamiento de imágenes satelitales, entre otras.

Esperando que sea de su total agrado y con ánimos de buscar siempre la mejora continua, me despido, no sin antes, agradecer cualquier sugerencia y aporte para la prosperidad del presente.

Atentamente:

Ing. Nino Frank Bravo Morales Especialista Teledetección

# INDICE

I.	TEL	EDETECCION	7				
	1.1.	. Concepto de teledetección					
	1.2.	. Componentes de un sistema de Teledetección					
	1.3.	El espectro electromagnético 9	)				
		1.3.1. Regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra9	)				
	1.4.	Firma espectral 1	0				
	1.5.	Tipos de sensores 1	1				
		1.5.1. Sensores pasivos 1	1				
		1.5.2. Sensores activos 1	2				
	1.6.	Resolución de los sensores remotos 1	2				
		1.6.1. Resolución espacial 1	2				
		1.6.2. Resolución espectral 1	3				
		1.6.3. Resolución radiométrica 1	4				
		1.6.4. Resolución temporal 1	5				
	1.7.	Tipo de imágenes de teledetección 1	6				
		1.7.1. Imagen multiespectral (MS) 1	6				
		1.7.2. Imagen pancromática (PAN) 1	6				
		1.7.3. Imagen fusionada (PS) 1	7				
		1.7.4. Imagen estéreo 1	7				
II.	SAT	SATÉLITES 18					
	2.1.	Satélite LANDSAT 1	9				
		2.1.1. Descripción 1	9				
		2.1.2. Tipo de sensor	20				
		2.1.3. Identificación de los productos	22				
		2.1.4. Banda de calidad (BQA.TIF) – LandSat 8 2	23				
		2.1.5. Proceso de la estimación de la temperatura de la superficie del suelo. 2	23				
		2.1.6. Acceso de descargar 2	24				
	2.2.	Satélite SENTINEL-2	27				
		2.2.1. Nivel de proceso	28				
		2.2.2. Niveles de Procesamiento	28				
		2.2.3. Identificación de los productos	29				
	2.3.	Satélite AQUA	32				
	2.4.	Satélite TERRA	34				

		2.4.1. Sensor MODIS	35
		2.4.2. Satélite ASTER (Radiómetro Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica Espacial)	49
	2.5.	Diferencia de las resoluciones de las plataformas y sensores	52
III.	COF	RECCIÓN ATMOSFERICA DE SUPERFICIE	53
	3.1.	Corrección radiométrica y atmosférica en LandSat 4, 5 y 7	53
		3.1.1. Conversión ND a Radiancia en el sensor Landsat 4, 5 Y 7	53
		3.1.2. Conversión de radiancia a reflectancia aparente (TOA).	54
	3.2.	Corrección radiométrica y atmosférica en LandSat 8	56
		3.2.1. Conversión ND a Radiancia en el sensor Landsat 8	56
		3.2.2. Determinación reflectancia aparente (TOA) Landsat 8	57
	3.3.	Corrección radiométrica y atmosférica en ASTER L1T	57
		3.3.1. Conversión de ND a Radiancia espectral ASTER L1T	57
		3.3.2. Radiancia a Reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA) ASTER	59
	3.4.	Corrección atmosférica SENTINEL 2	60
	3.5.	Corrección atmosférica MODIS – MOD09	60
	3.6.	Corrección atmosférica por método de sustracción de superficie oscuras (DOS1) para satélites ASTER, Sentinel2A, Landsat 4, 5, 7 y 8	61
		3.6.1. Calculo de las transmisividades	62
		3.6.2. Calculo de la corrección DOS1	63
IV.	CON LAN	IVERSIÓN A TEMPERATURA DE BRILLO Y DE SUPERFICIE DSAT Y ASTER L1T	66
	4.1.	Determinación de temperatura de Brillo	66
	4.2.	Estimación de la temperatura de superficie del suelo	67
		4.2.1. Determinación de la longitud de onda central de las bandas térmicas LandSat y ASTER	67
		4.2.2. Determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Landsat 4, 5, 7, 8 y ASTER	68
		4.2.3. Determinar la fracción de vegetación – FV	69
		4.2.4. Determinación de la emisividad de la superficie de la tierra - LSE	70
V.	ÍNDI	CE DE VEGETACIÓN	71
	5.1.	Fundamentos de la vegetación	71
		5.1.1. Comportamiento espectral de la hoja	71
	5.2.	Tipos de índices	74

	5.2.1. Índice de vegetación proporcionada - RATIO	74
	5.2.2. Índice Vegetación Diferencial - DVI	74
	5.2.3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada – NDVI	75
	5.2.4. Índice de vegetación mejorada – EVI	76
	5.2.5. Índice de vegetación Transformado - TVI	77
	5.2.6. Índice de vegetación Transformado Corregido - CTVI	77
	5.2.7. Índice de Vegetación Atmosféricamente Resistente - ARVI	78
	5.2.8. Índice de Vegetación Avanzada - AVI	78
	5.2.9. Índice de vegetación Ajustado al Suelo - SAVI	79
	5.2.10. Índice de Área foliar – LAI	80
	5.2.11. Índice de Suelo desnudo - BSI	80
	5.2.12. Índice de Diferencia Normalizada Agua - NDWI	81
	5.2.13. Índice de estrés Hídrico - MSI	82
	5.2.14. Índice Normalizado de Diferencia de Nieve - NDSI	82
	5.2.15. Índice de Diferencia Normalizada de humedad - NDMI.	83
	5.2.16. Índice Normalizado de Áreas Quemadas - NBRI	84
VI.	COMPOSICION DE BANDAS LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER Y MODIS	85
	6.1. Descripción de las bandas espectrales	86
VII.	MODELO DIGITAL DE TERRENO - MDT	97
	7.1. Tipos de Modelo Digital de Elevación	97
	7.1.1. Misión de la topografía del radar espacial (SRTM)	98
	7.1.2. Modelo Digital de Elevación Global – GDEM ASTER	99
	7.1.3. ALOS World 3D - 30m (AW3D30)	100
	7.1.4. Carta Nacional – Instituto Geográfico Nacional (IGN)	101
VIII.	BIBLIOGRAFIA	103
	VI. VII.	<ul> <li>5.2.1. Índice de vegetación proporcionada - RATIO</li></ul>

# I. TELEDETECCION

#### 1.1. Concepto de teledetección

Es "la ciencia y la tecnología por la cual se pueden identificar las características de los objetos de interés, medir o analizar las características sin contacto directo" (JARS, 1993).

Por lo general, la teledetección es la medición de la energía que se emanó de la superficie de la Tierra. Si la fuente de la energía medida es el sol, entonces se llama la teledetección pasiva, y el resultado de esta medición puede ser una imagen digital (RICHARDS y JIA, 2006). Si la energía medida no es emitida por el Sol, pero desde la plataforma de sensor, entonces se define como la teledetección activa, tales como sensores de radar que funcionan en el rango de microondas (RICHARDS y JIA, 2006).

#### 1.2. Componentes de un sistema de Teledetección

Un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos: (Según CHUVIECO, 1996).

- Fuente de Energía: Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo (como el radar).
- Cubierta terrestre: Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.) que refleja la señal hacia el sensor.
- Sistema sensor: Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- Sistema de recepción-comercialización: Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.
- Interprete: quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, etc.) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales.

• **Usuario final:** Es el beneficiario del documento fruto de la interpretación, así como de decidir sobre las consecuencias que de él deriven.



Figura 1. Los componentes de un sistema de Teledetección (CHUVIECO, 1996).

## 1.3. El espectro electromagnético

El espectro electromagnético es "el sistema que clasifica, de acuerdo con la longitud de onda, toda la energía (de corto cósmica a largo radio) que se mueve, armónicamente, a la velocidad constante de la luz" (NASA, 2011).

- 1.3.1. Regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra.
  - Espectro visible (0.4 0.7 µm): Rango de frecuencias del ojo humano. Máxima radiación solar. Subdividido en tres bandas: Rojo (0.6 - 0.7 µm), Verde (0.5 - 0.6 µm) y Azul (0.4 - 0.5 µm).
  - Infrarrojo cercano (0.7 1.1 µm): Denominado IR fotográfico o reflejado. \_ Energía solar que reflejan los cuerpos. Comportamiento similar al espectro visible.
  - Infrarrojo medio  $(1.1 8 \mu m)$ : Se entremezclan radiación solar y emisión. atmósfera afecta sensiblemente: aprovechado La para medir concentraciones de vapor de agua, ozono, aerosoles...
  - Infrarrojo térmico (8 14 µm): Radiaciones emitidas por los propios cuerpos. Se puede determinar la Temperatura de un cuerpo (IR térmico). Se puede disponer de imágenes a cualquier hora del día.
  - Microondas (1mm-1m): Interés creciente de la Teledetección en esta banda. Las perturbaciones atmosféricas son menores y es transparente a las nubes. Se suelen utilizar sensores activos.



Longitud de Onda (m)

Figura 2. Espectro electromagnético

Región Espectral (bandas)	Longitud de onda (λ)	Características
Rayos Gamma	< 0,03 nm	Radiación completamente absorbida por las capas superiores de la atmósfera. No se usa en teledetección
Rayos X	0,03 - 30 nm	Radiación completamente absorbida por la atmósfera. No se usa en teledetección
Ultravioleta	0,03 - 04 µm	La radiación con λ<0,3μm es completamente absorbida por la capa de ozono
Visible (azul, verde y rojo)	0,4 - 0,7 µm	Se puede detectar a través de fotodetectores y películas fotosensibles normales (color y B/N).
Infrarrojo Próximo	0,7 - 1,3 μm	Discrimina masas vegetales y concentraciones de humedad.
Infrarrojo Medio	1,3 - 8 µm	Estimación del contenido de humedad en la vegetación y detección de focos de alta temperatura.
Infrarrojo Térmico	8 - 14 µm	Detecta el calor proveniente de la mayor parte de la cubierta terrestre.
Micro-Ondas	0,1 - 100 cm	Radiación de grandes longitudes de onda, capaces de penetrar nubes, nieblas y lluvia.
Ondas de Radio	> 100 cm	Radiación con las mayores longitudes de onda del espectro. Usadas en telecomunicaciones

# Cuadro 1. Características de la región espectral

## 1.4. Firma espectral

La firma espectral es la reflectancia como una función de longitud de onda (véase la Figura curvas espectrales de reflectancia de cuatro diferentes Targets); cada material tiene una firma única, por lo tanto, se puede utilizar para la clasificación de materiales (NASA, 2011).





#### 1.5. Tipos de sensores

#### 1.5.1. Sensores pasivos

Son de mayor valor en las aplicaciones de la percepción remota en la evaluación de los recursos naturales. Los sensores pasivos simplemente reciben las señales emitidas naturalmente y reflejadas por los objetos percibidos. Estas señales, generadas por la radiación solar natural, puede proveer una información muy rica sobre los objetos percibidos.

Ejemplos: ASTER, LandSat, MODIS, SENTINEL.



Fuente de Radiación

Figura 4. Sensor pasivo de un satélite.

#### 1.5.2. Sensores activos

El sensor emite radiación dirigida hacia el objetivo a ser estudiado. La radiación reflejada de ese objeto es detectada y medida por el sensor.

Ejemplos: Lidar, Radar, Sonar.



Figura 5. Sensor activo de un satélite.

## 1.6. Resolución de los sensores remotos

## 1.6.1. Resolución espacial

Es la distancia que corresponde a la unidad mínima de información incluida en la imagen (píxel). Así, a menor tamaño del píxel mayor será la resolución espacial, lo que implica que el sensor obtendrá más detalle de los objetos.



Figura 6. Resolución espacial – Comparación de tamaño de pixel de una imagen.

Mediante la resolución espacial podemos aplicar la escala topográfica para la presentación de mapas:

Resolución espacial (metros)	Escala
1000	1: 1,500,000
30	1: 80,000
20	1: 50,000
10	1: 25,000
5	1: 12,000
1	1: 2,000

Cuadro 2. Escala del mapa mediante la resolución espacial (m	ı).
--	-----

#### 1.6.2. Resolución espectral

Indica el número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. Entre mayor sea esta resolución se tendrá información del comportamiento de una misma cobertura en diferentes bandas espectrales.



Figura 7. Comparación de bandas ASTER y LANDSAT ETM+



Figura 8. Comparación de bandas SENTINEL 2, LANDSAT 7 y 8

#### 1.6.3. Resolución radiométrica

Nos indica la medida en bits (dígitos binarios), es la gama de valores de brillo disponibles, que en la imagen se corresponden con el alcance máximo de DN; por ejemplo, una imagen con una resolución de 8 bits tiene 256 niveles de brillo (RICHARDS Y JIA, 2006).



Figura 9. Resolución radiométrica: comparación en los niveles de grises o niveles digital (ND) de una imagen (UNESCO RAPCA).

En una imagen cada pixel, puede asumir una cantidad de valores específica, dependiendo de su resolución radiométrica, por ejemplo una imagen de 8bits, va a varias de 0 - 255 tonalidades de gris.

Fórmula para determinar niveles de Gris:

 $2^{(n \acute{u} mero \ de \ bits)}$  = Niveles de Gris



Figura 10. Codificación de los ND de una imagen Landsat 8bits.

Bits	Niveles de gris	Rango	
1	2	0	1
2	4	0	3
3	8	0	7
4	16	0	15
5	32	0	31
6	64	0	63
7	128	0	127
8	256	0	255
9	512	0	511
10	1024	0	1023
11	2048	0	2047
12	4096	0	4095
13	8192	0	8191
14	16384	0	16383
15	32768	0	32767
16	65536	0	65535

Cuadro 3. Número de bits determinando el rango de gris o ND.

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.6.4. Resolución temporal

Para los sensores de satélites, también existe la resolución temporal, que es el tiempo necesario para volver a visitar la misma zona de la Tierra (NASA, 2011).

Se refiere a la periodicidad con la que éste adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre. El ciclo de cobertura está en función de las características orbitales de la plataforma (altura, velocidad, inclinación), así como del diseño del sensor.

- Alta resolución temporal: < 1 día 3 días
- Media resolución temporal: 4 16 días
- Baja resolución temporal: > 16 días

## 1.7. Tipo de imágenes de teledetección

#### 1.7.1. Imagen multiespectral (MS)

Imagen que lleva asociados varios valores numéricos a cada píxel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor. A priori, es el tipo de producto más útil ya que nos proporciona, en cierto modo, la firma espectral de los distintos elementos presentes en la imagen.

Es captada mediante un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas.





## 1.7.2. Imagen pancromática (PAN)

Dispone de una sola banda espectral que abarca comúnmente gran parte del visible y comienzo del infrarrojo, obteniendo como resultado una imagen que habitualmente se representa en una escala de grises (imagen en blanco y negro).

Como contrapartida, tienen la ventaja de poseer mayor resolución espacial que las multiespectrales que proporciona el mismo satélite. Es por ello que son muy interesantes para la detección de pequeños elementos de la superficie terrestre que no son distinguibles en la imagen multiespectral.



#### 1.7.3. Imagen fusionada (PS)

Este tipo de imagen se obtiene mediante la fusión de una imagen multiespectral con una pancromática. Las siglas PS provienen de pan-sharpened, su denominación en inglés. Básicamente, consiste en asignar a cada píxel de la imagen pancromática los valores procedentes de un algoritmo que combina la imagen pancromática con la multiespectral.



#### 1.7.4. Imagen estéreo

En realidad, se refiere a dos imágenes de una misma zona tomadas con ángulos de visión distintos. Muchos satélites tienen la capacidad de reorientar el sensor, lo que les permite tomar, en una o en sucesivas pasadas, este tipo de imágenes.



#### **II. SATÉLITES**

Las imágenes Satelitales están confeccionadas por matrices, en las que cada celda representa un píxel, las dimensiones de este píxel dependerá de la Resolución espacial del sensor. Los sensores registran la radiación electromagnética que proviene de las distintas coberturas y las almacena en cada píxel, de acuerdo a los intervalos de longitudes de onda, en las que este programado el sensor para captar.

Esta energía electromagnética es representada en cada píxel por un valor digital al cual se le agrega una tonalidad, este valor es llamado Nivel Digital (ND), la cantidad de niveles digitales que se podrá representar dependerá de la Resolución Radiométrica del sensor, para un sensor con Resolución Radiométrica de 8 bit los niveles digitales varían entre 0 y 255, siendo en la escala de grises el cero igual al color negro y el 255 igual al color blanco.

La posición de cada píxel en la imagen satelital está determinada por un eje de coordenadas XYZ.

- X : Nº de columna de la matriz.
- Y : Nº de fila de la matriz.
- Z : Nivel digital (valor de intensidad de la escala de grises).



Figura 12. Componentes de una imagen digital.

La asignación de colores más conocida por los usuarios es la del falso color convencional (R=Red (rojo); G=Green (verde); B=Blue (azul)), la cual asigna el color azul a la banda del verde, el color verde a la banda del rojo y el color rojo a la banda del infrarrojo cercano.

La información que se obtiene de las distintas bandas de las imágenes satelitales, son de gran ayuda en diversos ámbitos tales como:

- Agricultura y recursos forestales
- Uso de suelo y Geología.
- Recurso de agua y Medio ambiente.

#### 2.1. Satélite LANDSAT

#### 2.1.1. Descripción

El programa Landsat es una serie de misiones de observación de la Tierra por satélite administrado conjuntamente por la NASA y el Servicio Geológico de EE.UU.

En 1 972, el lanzamiento de ERTS-1 (Tierra Recursos Tecnología por Satélite, más tarde renombrado Landsat 1) comenzó la era de la una serie de satélites que tienen desde que adquirida forma continua de tierras datos obtenidos por detección remota basados en el espacio.

El último satélite de la serie Landsat, la Misión de Continuidad de Datos de Landsat (LDCM), se puso en marcha el 11 de febrero de 2013. Ahora renombrado Landsat 8, los datos adquiridos por el satélite continúan para expandir el archive para los usuarios de en todo el mundo.



Figura 13. Misión cronológica Landsat

#### 2.1.2. Tipo de sensor

#### 2.1.2.1. Thematic Mapper (TM) - LandSat 4 y 5

Este tipo de sensor presenta los satélites **LandSat 4** y **5**, las imágenes constan de siete bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de Bandas 1 a 5 y 7. El tamaño aproximado es de 170 km escena norte-sur por 183 km de este a oeste. Su resolución temporal es de 16 días.

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	1 - Azul	0.45 - 0.52	30
Landsat 4-5	2 - Verde	0.52 - 0.60	30
Thematic Mapper	3 - Rojo	0.63 - 0.69	30
(TM)	4 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.76 - 0.90	30
	5 - onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30
	6 - Thermal	10.40 - 12.50	120 * (30)
	7 - onda corta infrarroja (SWIR) 2	2.08 - 2.35	30

\* Band TM 6 fue adquirida a una resolución de 120 metros, pero el producto se vuelve a muestrear a los píxeles de 30 metros.

Fuente: http://landsat.usgs.gov/band\_designations\_landsat\_satellites.php).

#### 2.1.2.2. Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM +) – LandSat 7

Este tipo de sensor presenta el satélite de **LandSat 7** y las imágenes constan de ocho bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de Bandas 1 a 5 y 7. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. El tamaño aproximado es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste.

Cuadro 5. Característica imagen LandSat 7

	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Landsat 7	1 - Azul	0.45 - 0.52	30
Thematic	2 - Verde	0.52 - 0.60	30
Mapper Plus (FTM +)	3 - Rojo	0.63 - 0.69	30
	4 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.77 - 0.90	30
	5 - onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.55 - 1.75	30

100 m 100 m	Sector and the sector of the sector of the	and the second second	And in case of the local division of the loc	7_(
	6 - Thermal	10.40 - 12.50	60 * (30)	
	7 - onda corta infrarroja (SWIR) 2	2.09 - 2.35	30	×.
	8 - Pancromática	0.52 - 0.90	15	

\* ETM + Band 6 se adquiere a una resolución de 60 metros, pero el producto se vuelve a muestrear a los píxeles de 30 metros.

Fuente: http://landsat.usgs.gov/band\_designations\_landsat\_satellites.php).

2.1.2.3. Imagen operacional de la Tierra (OLI) y el sensor térmico infrarrojo (TIRS) – LandSat 8

Este tipo de sensor presenta el satélite de **LandSat 8** y las imágenes se componen de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros de Bandas 1 a 7 y 9. La banda ultra azul 1 es útil para estudios costeros y aerosoles. Banda 9 es útil para la detección de nubes cirrus. La resolución de la banda 8 (pancromática) es de 15 metros. Bandas térmicas 10 y 11 son útiles para proporcionar temperaturas de la superficie más precisa y se recogen a 100 metros. El tamaño aproximado es de 170 km escena de norte a sur por 183 km de este a oeste.

Cuadro 6.	Característica	imagen	LandSat	8
		3		_

Landsat 8 Operativa Imager Tierra (OLI) y térmica infrarroja del sensor (SITR)	Banda	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	1 - ultra azul (costero / aerosol)	0.43 - 0.45	30
	2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	6 - onda corta infrarroja (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
	7 - onda corta infrarroja (SWIR) 2	02.11 - 02.29	30
	8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
	9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	10 - infrarrojo térmico (SITR) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	11 - infrarrojo térmico (SITR) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

\* Bandas TIRS se adquieren a una resolución de 100 metros, pero se vuelven a muestrear a 30 metros de producto entregado datos.

Fuente: http://landsat.usgs.gov/band\_designations\_landsat\_satellites.php).

#### 2.1.3. Identificación de los productos

Los productos LANDSAT se nombran a través de la convención adoptada por la NASA.

Código: LXSPPPRRRYYYYDDDGGGVV

Ejemplo: LC80070662014250LGN00

Donde:

- L : Nombre de la misión (L: Landsat) X : Tipo de sensor: (C: Sensor OLI y TIRS; T: Sensor TM; E: sensor ETM+; M: Sensor MSS)
- S : Número de misión LandSat (8, 7 o 5).
- PPP : Path referencia global WRS-2 (**007**).
- RRR : Row referencia global WRS-2 (**066**).
- YYY : Año de adquisición de la imagen (2014).
- DDD : Día juliano de adquisición (250)
- GGG : ID de la estación terrena (**LGN**).
- VV : Número de versión archivo (00)



Figura 14.Localización de la zona de análisis Landsat.

#### 2.1.4. Banda de calidad (BQA.TIF) – LandSat 8

A PAR

Es una banda de datos adicionales muy importante en **Landsat 8**. Cada pixel de la banda de control de calidad contiene un valor decimal que representa las combinaciones de bits de relleno de la superficie, la atmosfera, y las condiciones de sensores que pueden afectar a la utilidad general de un pixel dado.

Los datos mayores a 28,590 de su número digital ND son nubes y Cirrus.

# 2.1.5. Proceso de la estimación de la temperatura de la superficie del suelo.

Para el proceso de estimación de temperatura de la superficie se utiliza la Banda termal siendo para LandSat 5 y 7 (Banda 6) y LandSat 8 (banda 10 y 11). También para estimar el NDVI se utiliza las bandas RED y NIR, LandSat 5 y 7 (Banda 3 y 4) y LandSat 8 (Banda 4 y 5).



Diagrama 1. Estimación de la superficie de temperatura del suelo

#### 2.1.6. Acceso de descargar

USGS EarthExplorer (EE): <u>https://earthexplorer.usgs.gov/</u> USGS Global Visualization Viewer (GloVis): <u>https://glovis.usgs.gov/</u> LAND VIEWER: <u>https://lv.eosda.com/</u> ESDI Glabal Land Cover Facility: <u>http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/</u> Librerioa <u>https://libra.developmentseed.org/</u> EOSDIS Reverb: <u>https://reverb.echo.nasa.gov/</u> LANDSAT LOOK: <u>https://landsatlook.usgs.gov/viewer.html</u>

USGS observación tiempo real: https://earthnow.usgs.gov/observer/



Figura 15. Visualización de los satélites LandSat a tiempo real.





Figura 16.Bandas que reconocen el sensor TM (Mapeador Temático).



#### 2.2. Satélite SENTINEL-2

Sentinel-2 es una misión de imágenes multiespectrales de alta resolución espacial (10m) en órbitas polar para el monitoreo de la tierra y está diseñado como una constelación de dos satélites: Sentinel-2A y -2B que permiten obtener información de la superficie de la tierra, con una frecuencia de 5 días. Sentinel-2A se lanzó el 23 de junio de 2015 y el Sentinel-2B se lanzó el 7 de marzo de 2017.

El Sentinel-2B vuela a 180° opuesto a Sentinel-2A, con ambas naves ocupando órbitas sincrónicas del Sol a una altitud de aproximadamente 786 km y cubriendo las superficies terrestres, grandes islas, aguas continentales y costeras de la Tierra 84° N y 56° S cada cinco días.

El Sentinel-2 tiene un escaner multi-spectral que permite obtener información en las dos longitudes de onda, visibles e infrarrojos, permitiendo monitorizar los cambios en la tierra y en la vegetación, así como vigilar a nivel mundial el cambio climático, con una resolución de 10m. Las imágenes están disponibles de manera gratuita y pueden ser utilizadas en un rango amplio de aplicaciones.

Bandas Sentinel-2		Longitud de Onda Central (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 – Costero / aerosol		0.443	60
Banda 2 - Azul		0.49	10
Banda 3 - Verde		0.56	10
Banda 4 - Rojo		0.665	10
Banda 5 - Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)		0.705	20
Banda 6 - Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)		0.74	20
Banda 7 - Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)		0.783	20
Banda 8 - Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)		0.842	10
Banda 8A - Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)		0.865	20
Banda 9 - Vapor de Agua		0.945	60
Banda 10 - Cirrus		1.375	60
Banda 11 - Onda Corta Infrarroja (SWIR)		1.61	20
Banda 12 - Onda Corta Infrarroja (SWIR)		2.19	20

Las imágenes Sentinel-2 están disponibles gratuitamente desde el sitio web de la ESA: <u>https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home</u>



sentinel-2

Figura 17.Con los satélites gemelos Sentinel 2A y 2B en órbita, los usuarios pueden esperar imágenes renovadas del mismo lugar en la Tierra al menos una vez cada cinco días. Crédito: ESA / ATG medialab.

#### 2.2.1. Nivel de proceso

La asociación entre la ESA y el USGS permite la distribución de datos de reflectancia de nivel superior de la atmósfera (TOA). El procesamiento de nivel 1C incluye correcciones radiométricas y geométricas junto con la ortorrectificación para generar productos geolocalizados de alta precisión.

#### 2.2.2. Niveles de Procesamiento

El procesamiento de **NIVEL 1C** incluye correcciones radiométricas y geométricas que incluyen orto-rectificación y registro espacial en un sistema de referencia global con precisión de subpíxeles.

El procesamiento de Level-1C se descompone en los siguientes pasos:

- Asociación de azulejos: selección de azulejos predefinidos que intersecan la huella de la imagen requerida.
- Cálculo de la rejilla de rejilla: permite vincular la imagen de geometría nativa a la imagen de geometría de destino (orto-rectificada).
- Re-muestreo de cada banda espectral en la geometría de la ortoimagen usando las rejillas de re-muestreo y un filtro de interpolación. El cálculo de las reflectancias TOA también ocurre en este paso.
- Cálculo de máscaras: se generan máscaras de nubes y tierra / agua.

- Sentinel-2
- Compactación de imágenes de las imágenes de nivel 1C resultante mediante el algoritmo JPEG2000 y un encabezado codificado por imágenes geográficas GML.

#### 2.2.3. Identificación de los productos

Los productos SENTINEL-2 está en convención gránulos:

Código: MMM\_CCCC\_FFFFDDDDDD\_ssss\_yyyymmddThhmmss\_Zzzzzzz\_Xxxxx\_Nxx.yy Ejemplo: S2A\_OPER\_MSI\_L1C\_TL\_MTI\_\_20160804T214646\_A005842\_T18LVR\_N02.04 Donde:

MMM	: El identificador de misión (S2A)
CCCC	: Clase de archivo (OPER: para todos los productos generados Durante la Fase de Operaciones).
FFF	: Categoría de archivo (MSI_)
DDDDDD	: Descriptor semántico (L1C_TL)
SSSS	: El identificador de instancia contiene el Centro de sitios (MTI_)
уууу	: Año de creación (2016)
mm	: Mes de creación (08)
dd	: Día de creación (04)
Thhmmss	: Tiempo de creación hora, minutos y segundos (21:46:46)
Zzzzzz	: Número de órbita absoluta (A005842).
Xxxxxx	: Número de Grilla (T18LVR)
Nxx.yy	: Número de línea base de procesamiento (N02.04)



Figura 18.Satélite Sentinel-2 en el espacio.



Diagrama 2. Estimación de la reflectancia de superficie – Sentinel-2.





## 2.3. Satélite AQUA

#### Project Science

Aqua, también denominado EOS-PM 1, es un satélite de observación terrestre dedicado al estudio del ciclo del agua (precipitación, evaporación...).

Fue lanzado el 4 de mayo de 2002 (tras varios retrasos) desde la base de Vandenberg por un cohete Delta II a una órbita heliosincrónica de unos 705 km de altura.

El satélite lleva los siguientes instrumentos:

- CERES : Compuesto por dos radiómetros de banda ancha, del espectro visible al infrarrojo (bandas entre 0,3 y 5 micras y entre 8 y 12 micras), mide el equilibrio energético de la atmósfera, así como la radiación ultravioleta solar que es reflejada y absorbida por la superficie, la atmósfera y las nubes.
  - AIRS : Espectrómetro infrarrojo (entre 3,7 y 15 micras) para realizar perfiles verticales de temperatura y humedad. También incorpora un fotómetro óptico de cuatro bandas, entre 0,4 y 1 micras.
- AMSU-A1 y AMSU-A2 : Medidores de microondas en 15 canales (entre 15 y 90 GHz para realizar perfiles de temperatura.
- HSB : "Humidity Sounder for Brazil" es un medidor de microondas de cuatro canales (entre 150 y 183 GHz) para obtener perfiles de humedad incluso bajo cubiertas de nubes muy espesas.
  - AMSR-E: Radiómetro microondas (6,9-89 GHz)japonés para medir la tasa de lluviamediante la dispersión de microondas porlas gotas de agua. También mide vientos ytemperatura en la superficie del mar.
    - MODIS : Cámara espectrómetro en el espectro óptico e infrarrojo (0,4 a 14,5 micras).







# Project Science



Figura 19. Satélite AQUA y ubicación de sensor MODIS



Diagrama 3. Determinación de las reflectancias de superficie MODIS MOD09.

# The EOS Flagship

## 2.4. Satélite TERRA

Terra (EOS AM-1) es un satélite multinacional de la NASA de investigación científica por satélite. Funciona en una órbita polar alrededor de la Tierra sincronizada con el Sol. Esto significa que recorre una trayectoria que pasa por ambos polos caracterizada por aparecer cada día sobre un punto dado del ecuador siempre a la misma hora local.

El nombre de "Terra" viene del latín y significa tierra. El satélite fue lanzado desde Vandenberg Air Force Base el 18 de diciembre de 1999, a bordo de un vehículo Atlas IIAS y comenzó a recoger datos el 24 de febrero de 2000.

Terra lleva una carga útil de cinco sensores remotos destinados a supervisar el estado de la Tierra del medio ambiente y los cambios climáticos.

- ASTER (espacial avanzado de emisiones térmicas y reflexión Radiométrica)
- CERES (nubes y la Tierra, energía radiante del sistema)
- MISR (multiángulo de imágenes espectroradiométricas.)
- **MODIS** (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer)
- MOPITT (mediciones de la contaminación en la tropósfera)



Figura 20.Satélite TERRA y ubicación de sensor MODIS

#### 2.4.1. Sensor MODIS

El sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), es un instrumento que viaja a bordo de los satélites: TERRA (EOS a.m.) y AQUA (EOS p.m.). La órbita del satélite TERRA alrededor de la tierra va de norte a sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el satélite AQUA va de sur a norte cruzando el Ecuador por la tarde.

El sensor forma parte de la misión EOS (Earth Observing System) de la NASA, fue creado para capturar imágenes de la atmósfera, océano y superficie, transmitiendo datos en 36 bandas, que van desde el espectro visible hasta el infra rojo térmico, con resoluciones espaciales de 250, 500 y 1000 metros.



# Figura 21.Resumen de las resoluciones espectrales y espaciales MODIS y la comparación con los sensores de TM / Landsat-5 y ETM + / Landsat-7.

# he EOS Flagship

#### 2.4.1.1. Formato de almacenamiento HDF

Los productos MODLAND se encuentra en el formato *Hierarchical Data Format* (HDF), desarrollado por el Centro Nacional de Aplicaciones de Supercomputación (NCSA). De acuerdo al NCSA, este formato de archivo físico, en el nivel más sencillo sirve para almacenar datos como cualquier otro formato, pero en su nivel de más complejidad, es una colección de aplicaciones y utilizadas para manipular los datos (FISHTALER, 1998).
#### ERRA The EOS Flagship

Cuadro 8. Características de las bandas del satélite MODIS.

Banda	Resolución espectral (μm)	Resolución espacial (m)	Resolución temporal	Resolución Radiométrica	Uso primario
1 - RED	0.62 - 0.67	250			Límite de tierra, nubes y
2 - NIR	0.841 - 0.876	250			aerosoles
3 - BLUE	0.459 – 0.479				
4 - GREN	0.545 – 0.565				
5 – SWIR 1	1.230 – 1.250	500			Propiedades de la tierra,
6 – SWIR 2	1.628 – 1.652				
7 – SWIR 3	2.105 – 2.155				
8	0.405 – 0.420				
9	0.438 - 0.448				
10	0.483 – 0.493				
11	0.526 – 0.536				
12	0.546 – 0.556				Biogeoquímica, color del
13	0.662 – 0.672				
14	0.673 – 0.683				
15	0.743 – 0.753				
16	0.862 – 0.877				
17	0.890 - 0.920				
18	0.931 - 0.941		diavia	12 hite	Vapor de agua atmosférico
19	0.915 – 0.965		diaria	12 DIts	
20	3.660 - 3.840				
21	3.929 – 3.989				Temperatura de la superficie
22	3.929 – 3.989	1000			y nubes
23	4.020 - 4.080				
24	4.433 – 4.498				Tomoroutumo otmosfórico
25	4.482 – 4.549				remperatura atmosferica
26	1.360 – 1.390				
27	6.535 – 6.895				Vapor de agua en nubes Cirrus
28	7.175 – 7.475				Cirtus
29	8.400 - 8.700				Propiedades de nubes
30	9.580 - 9.880				Ozono
31	10.780 - 11.280				Temperatura de la
32	11.770 – 12.270				Superficie y nubes
33	13.185 – 13.485				
34	13.485 – 13.785				Altitud máxima da las aubra
35	13.785 – 14.085				Antituu maxima de las hubes
36	14.085 - 14.385				

## 2.4.1.2. Nivel de Procesamiento

Los datos captados por el sensor MODIS se integran en tres productos básicos (MOD. 01 al 03), los cuales contienen las 36 bandas captadas. A partir de ellos, se derivan toda una serie de productos seleccionando los canales de mejor respuesta al objeto de estudio.

### Cuadro 9. Productos de MODIS

Clave	Descripción del producto			
MOD01	Level 1A: Contiene datos crudos de las 36 bandas e información auxiliar del satélite, así como de los instrumentos de toma			
Level 1B: Incluyendo la calibración de radiancias y georeferencia para las 36 MOD02 bandas. De él se obtienen 4 productos:1B 1Km, 1B 500m, 1B 250m y 1B OB (calibración a bordo del satélite).				
MOD03	Conjunto de datos georeferidos.			
MOD04	Productos de aerosoles.			
MOD05	Total de agua precipitada (método del infrarrojo cercano).			
MOD06	Productos de las nubes (grosor óptico, partículas de radio, etc.).			
MOD06	Productos de las nubes (fase y propiedades de la parte superior de las nubes).			
MOD07	Perfiles atmosféricos			
MOD08	Productos atmosféricos Nivel 3			
MOD09	Reflectancia superficial corregida atmosféricamente.			
MOD10	Cobertura de nieve.			
MOD11	Superficie de temperatura y Emisión de calor.			
MOD12	Cobertura terrestre / Cambios de cobertura terrestre.			
MOD13	Índices de vegetación.			
MOD14	Anomalías termales, incendios, biomasa.			
MOD15	Índices de hojas y FPAR			
MOD16	Resistencia superficial y evapotranspiración.			
MOD17	Producción de vegetación y productividad primaria neta.			
MOD18	Índice normalizado de radiancia del agua.			
MOD19	Concentración de pigmentos			
MOD20				
MOD21	Concentración de clorofila.			
MOD22	Radiación activa fotosintética (PAR).			
MOD23	Concentración de sólidos suspendidos en el agua oceánica.			
MOD24	Concentración de materia orgánica			
MOD25	Coccolith concentración			
MOD26	Coeficiente de atenuación del agua oceánica.			

MOD27	Productividad primaria del océano.
MOD28	Temperatura superficial del mar
MOD29	Cobertura de hielo en océano.
MOD30	Perfiles de humedad y temperatura
MOD31	Concentración de Phycocrythrin.
MOD32	Matchup DB y estructura de los procesos oceánicos.
MOD33	Coordenadas de la cobertura de nieve
MOD34	Malla de índices de vegetación
MOD35	Masas de nubes
MOD36	Coeficiente total de absorción.
MOD37	Propiedades Oceano Aerosol
MOD39	Valor épsilon en el agua
MOD43	Albedo 16 Day Level 3
MOD44	Campos continuos y conversión de la cobertura vegetal.



# 2.4.1.3. Identificación de los productos

Los productos MODIS se nombran a través de la convención adoptada por la NASA. Las diferentes porciones del nombre del archivo permiten conocer la plataforma, el nombre del producto, su fecha de adquisición, versión y localización.

Código: NOM.AYYYYDDD.hxxxvyyy.vvv.aaadddhhss.hdf

Ejemplo: MOD09GA.A2017223.h10v09.006.2017225031049.hdf

Donde:

: Nombre corto – MOD09GA
: Año de adquisición (A2017) y día juliano (223).
: ID del archivo (horizontal h10, vertical v09)
: Versión de proceso (006)
: Año de producción (2017), día juliano (225), y tiempo (03:10:49)
: Formato de datos (HDF-EOS).



Figura 22. Localización de la zona de análisis.



# 2.4.1.4. Principales características del producto de MODIS 09

La reflectancia superficial es la cantidad de luz reflejada por la superficie de la tierra; es una relación de superficie Radiancia a la irradiancia superficial, y como tal no tiene unidad, y típicamente tiene valores entre 0.0 y 1.0.

Los valores de reflectancia de superficie de MODIS 09 se escalan en 10,000 y luego se transmiten a enteros de 16 bits, de manera que la superficie los valores de reflectancia en los archivos MOD09 están típicamente entre -100 y 16,000. Por este motivo se va a multiplicar por 0.0001 a las bandas para obtener valores de -0.01 a 1.6 de la corrección atmosférica.

Las imágenes de MODIS ya se proporcionan en reflectancia de superficie escalada, que puede convertirse en reflectancia de superficie con un cálculo simple utilizando un valor de cuantificación, con esta fórmula:

$$p_{\lambda} = ND^*0.0001$$

Donde:

ND: Número digital de las bandas MODIS

Producto	Plataforma	Resolución espectral	Resolución espacial	Resolución temporal	Rango Valido	Factor de escala
MOD09GA	TERRA	Bandas 1 - 7	500	Día	-100 a 16000	0.0001
MYD09GA	AQUA	Bandas 1 - 7	500	Día	-100 a 16000	0.0001
MOD09GQ	TERRA	Bandas 1 - 2	250	Día	-100 a 16000	0.0001
MYD09GQ	AQUA	Bandas 1 - 2	250	Día	-100 a 16000	0.0001
MOD09Q1	TERRA	Bandas 1 - 2	250	8 día	-100 a 16000	0.0001
MYD09Q1	AQUA	Bandas 1 - 2	250	8 día	-100 a 16000	0.0001
MOD09A1	TERRA	Bandas 1 - 7	500	8 día	-100 a 16000	0.0001
MYD09A1	AQUA	Bandas 1 - 7	500	8 día	-100 a 16000	0.0001

Cuadro 10. Productos de la versión 6 de la Reflectancia de la superficie MODIS 09

Fuente: https://lpdaac.usgs.gov/dataset\_discovery/modis/modis\_products\_table



# 2.4.1.5. Principales características del producto MODIS 11

El producto MODIS 11 versión 6 proporciona diariamente, semanal o mensual por píxel, la temperatura de superficie terrestre (LST) pudiendo ser de resolución espacial de 1000, 5600 o un mosaico global. Cada clave contiene varias capas incluyendo la capa de día y noche de la temperatura de la superficie terrestre (LST) junto con sus capas de indicador de calidad asociadas, capas de emisividad y sus correspondientes capas de control de día y noche y capas de observación.

### LST = ND\*0.02

Cuadro 11. Producto de la versión 6 de la superficie de temperatura y emisividad.

Clave	Resolución temporal	Resolución espacial	Sensor	Rango valido	Factor de escala	Extensión
MOD11A1	Diario	1000	TERRA	7500 - 65535	0.02	Zona
MOD11A2	8 días	1000	TERRA	7500 - 65535	0.02	Zona
MOD11B1	Diario	5600	TERRA	7500 - 65535	0.02	Zona
MOD11B2	8 días	5600	TERRA	7500 - 65535	0.02	Zona
MOD11B3	Mensual	5600	TERRA	7500 - 65535	0.02	Zona
MOD11C1	Diario	5600	TERRA	7500 - 65535	0.02	Global
MOD11C2	8 días	5600	TERRA	7500 - 65535	0.02	Global
MOD11C3	Mensual	5600	TERRA	7500 - 65535	0.02	Global
MYD11A1	Diario	1000	AQUA	7500 - 65535	0.02	Zona
MYD11A2	8 días	1000	AQUA	7500 - 65535	0.02	Zona
MYD11B1	Diario	5600	AQUA	7500 - 65535	0.02	Zona
MYD11B2	8 días	5600	AQUA	7500 - 65535	0.02	Zona
MYD11B3	Mensual	5600	AQUA	7500 - 65535	0.02	Zona
MYD11C1	Diario	5600	AQUA	7500 - 65535	0.02	Global
MYD11C2	8 días	5600	AQUA	7500 - 65535	0.02	Global
MYD11C3	Mensual	5600	AQUA	7500 - 65535	0.02	Global



Diagrama 4. Estimación de la superficie de temperatura terrestre MODIS MOD11.



Diagrama 5. Estimación del índice de vegetación utilizando MODIS MOD13.



# 2.4.1.6. Principales características del producto MODIS 13

El producto MODIS 13 versión 6 proporciona un valor de índice de vegetación (VI) en una base por píxel. Hay dos capas de vegetación primaria. El algoritmo para este producto elige el mejor valor de píxel disponible de todas las adquisiciones del período de 16 días o mensual. Los criterios utilizados son nubes bajas, ángulo de visión bajo y el valor NDVI / EVI más alto. El primero es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual se conoce como el índice de continuidad del NDVI derivado de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA-AVHRR). La segunda capa de vegetación es el índice de vegetación mejorado (EVI), que ha mejorado la sensibilidad en regiones de alta biomasa.

Proporcionado junto con las capas de vegetación y las dos capas de garantía de calidad (QA) y las bandas de reflectancia 1 (rojo), 2 (infrarrojo cercano), 3 (azul) y 7 (infrarrojo medio), así como cuatro capas de observación. La validación en la etapa 3 se ha logrado para todos los productos vegetación MODIS MOD13 / MYD13.

NDVI = ND\*0.0001

EVI = ND\*0.0001

Clave	Resolución temporal	Resolución espacial	Sensor	Factor de escala	Rango valido	Extensión
MOD13A1	16 días	500	TERRA	0.0001		Zona
MOD13A2	16 días	1000	TERRA	0.0001		Zona
MOD13A3	Mensual	1000	TERRA	0.0001		Zona
MOD13C1	16 días	5600	TERRA	0.0001		Global
MOD13C2	Mensual	5600	TERRA	0.0001		Global
MOD13Q1	16 días	250	TERRA	0.0001	-2000 a	Zona
MYD13A1	16 días	500	AQUA	0.0001	10000	Zona
MYD13A2	16 días	1000	AQUA	0.0001		Zona
MYD13A3	Mensual	1000	AQUA	0.0001		Zona
MYD13C1	16 días	5600	AQUA	0.0001		Global
MYD13C2	Mensual	5600	AQUA	0.0001		Global
MYD13Q1	16 días	250	AQUA	0.0001		Zona

Cuadro 12. Producto de la versión 6 del índice de vegetación (NDVI y EVI)



# 2.4.1.7. Principales características del producto MODIS 15

El modelo MODIS 15 versión 6 Nivel 4, Combinación de Fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa (FPAR) y el Índice de Área de Hoja (LAI) es un conjunto de datos compuestos de 4 y 8 días con un tamaño de píxel de 500 metros.

LAI se define como el área unilateral de la hoja verde por unidad de área de tierra en las todas las hojas anchas y como la mitad de la superficie total de la aguja por unidad de área de tierra en las copas de coníferas. La FPAR se define como la fracción de radiación fotosintéticamente activa incidente (400-700nm) absorbida por los elementos verdes de un dosel de vegetación.

El producto LAI ha alcanzado la fase 2 de validación y el producto FPAR ha alcanzado la fase 1 de validación.

Cuadro 13. Producto de la versión 6 de la combinación de Fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa (FPAR) y el índice de área de Hoja (LAI).

Clave	Resolución temporal	Resolución espacial	Sensor	Rango valido	Factor de escala	Extensión
MCD15A2H	8 días	500	TERRA & AQUA	0 a 100	FPAR - 0.01 LAI - 0.1	Zona
MCD15A3H	4 días	500	TERRA & AQUA	0 a 100	FPAR - 0.01 LAI - 0.1	Zona
MOD15A2H	8 días	500	TERRA	0 a 100	FPAR - 0.01 LAI - 0.1	Zona
MYD15A2H	8 días	500	AQUA	0 a 100	FPAR - 0.01 LAI - 0.1	Zona





Diagrama 5. Estimación de la Fracción de Radiación Fotosintéticamente Activa (FPAR) y el Índice de Área de Hoja (LAI) MODIS MOD15.

# 2.4.1.8. Principales características del producto MODIS 43

El producto de MODIS 43 es la Función de Distribución de Reflectancia Bidireccional (BRDF) especifica el comportamiento de la dispersión superficial como una función de la iluminación y ángulos de visión a una longitud de onda particular. El MODIS BRDF / Producto Albedo también proporciona Reflectancias Ajustadas por Nadir BRDF (NBAR) --- reflectancias superficiales corregidas a una geometría de vista nadir común en el ángulo zenital local del mediodía solar del día de interés (**MCD43A4**). El producto **MCD43A4** es el combinado, tiene el lujo de elegir el mejor pixel representativo de un grupo que incluye todas las adquisiciones de los sensores TERRA y AQUA desde el periodo de recuperación.

El **MCD43A4** proporciona los datos de reflectancia de 500 metros de las bandas "terrestres" MODIS 1 – 7 bandas, han logrado la fase 3 de validación.

Level-3 500m Los productos MODIS Land (MODLAND) se archivan en mosaicos de superficie igual a 2400 x 2400 píxeles en una proyección sinusoidal (SIN). Estos productos se publican en formato de datos jerárquicos - Sistema de observación de la Tierra (HDF-EOS)

# Mejoras / cambios de versiones anteriores

- Los productos MCD43 se generan diariamente, utilizando todavía el algoritmo de recuperación de 16 días.
- Las observaciones se ponderan para estimar el BRDF / Albedo al primer día del segundo período de 8 días del período de 16 días.
- Los productos MCD43 utilizan una base de datos de respaldo mejorada se actualizan con base en píxeles a partir de la última inversión completa, en contraposición a la base de cobertura basada en DB utilizada en C5.
- Se mejora la calidad y se obtiene más recuperación a altas latitudes del uso de todas las observaciones disponibles. C5 utilizó sólo cuatro observaciones por día.
- Los productos MCD43 usan ahora el estado actual de la nieve del día en lugar de la mayoría del estado de nieve / no-nieve del período de 16 días.
- Los productos MCD43 ahora utilizan reflectancia de superficie L2G-lite como entrada

# 2.4.1.9. Acceso de descargar

USGS EarthExplorer (EE): https://earthexplorer.usgs.gov/

LP DAAC: https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/ o https://search.earthdata.nasa.gov/

USGS Global Visualization Viewer (GloVis): https://glovis.usgs.gov/

LP DAAC acceso directo: https://lpdaac.usgs.gov/data\_access/data\_pool

LAADS DAAC: https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/





# 2.4.2. Satélite ASTER (Radiómetro Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica Espacial)

Las imágenes satelitales ASTER, son captadas por la plataforma TERRA de la NASA, puesto en órbita en diciembre de 1999 por el gobierno de Estados Unidos y de Japón, que son los responsables del diseño, calibración y validación de los instrumentos. ASTER presenta una órbita heliosincrónica a una distancia de 705 kilómetros, con un ciclo de repetición de 16 días, un ancho de barrido de 60 kilómetros y una distancia entre orbitas de 172 Km. ASTER está compuesto por 3 subsistemas, VNIR, SWIR y TIR; cada uno de cuales presenta características particulares tales como 3 bandas en la región espectral del visible e infrarrojo cercano (VNIR) con una resolución espacial de 15 metros; 6 bandas en la región espectral del infrarrojo de onda corta (SWIR) con una resolución espacial de 30 metros y 5 bandas en el infrarrojo térmico con una resolución espacial de 90 metros (ABRAMS y HOOK, 1999). ASTER también presenta un telescopio con visión hacia atrás que escanea en la región espectral de la banda 3B, lo que nos permite realizar modelos digitales de terreno (MDT) por pares estereoscópicos.

Los científicos usan los datos ASTER para crear mapas detallados de la temperatura superficial de la tierra, emisividad, reflectancia y elevación. Es importante para la detección de cambios, calibración / validación y estudios de superficie terrestre.



Figura 23.Plataforma TERRA y ubicación de sensor ASTER.



Entre los requerimientos de los investigadores que desarrollaron el sensor ASTER, con el fin de obtener datos geológicos detallados para estudiar fenómenos que pudieran producir un impacto a nivel global, fueron colocar detectores en rangos espectrales bien seleccionados, para así favorecer la detección de las características espectrales de los principales de grupos de minerales de alteración, tales como:

- Alunita
- Albita
- Clorita Epidota
- Caolinita Esmectita
- Illita
- Hematita
- Pirofilita
- Pirita
- Ferroso
- Ferrico
- Cuarzo
- Carbonato

Cuadro 14. Características del satélite ASTER.

Subsistema	Bandas ASTER	Resolución Espectral (micrómetro)	Resolución Espacial	Resolución Radiométrica	
	Banda 1 - Verde	0.52 - 0.60			
	Banda 2 - Rojo	0.63 - 0.69	15		
VININ	Banda 3N - Infrarrojo Cercano	0.78 - 0.86	15		
	Banda 3B - Infrarrojo Cercano 0.78 - 0.8				
	Banda 4 - SWIR 1	1.60 - 1.70		8bits	
	Banda 5 - SWIR 2	2.145 - 2.185			
C/V/ID	Banda 6 - SWIR 3	2.185 - 2.225	20		
SVVIN	Banda 7 - SWIR 4 2.235 - 2.285				
	Banda 8 - SWIR 5	2.295 - 2.365			
	Banda 9 - SWIR 6	2.360 - 2.430			
	Banda 10 - TIR 1	8.125 - 8.475		16 bits	
	Banda 11 - TIR 2	8.475 - 8.825			
TIR	Banda 12 - TIR 3	8.925 - 9.275	90		
	Banda 13 - TIR 4	10.25 - 10.95			
	Banda 14 - TIR 5	10.95 - 11.65			

Fuente: LPDAAC.USGS.GOV





Diagrama 6. Estimación de la superficie de temperatura terrestre LST – ASTER L1T.

# 2.4.2.1. Descarga de datos ASTER L1T

LP DAAC acceso directo: <u>https://lpdaac.usgs.gov/data\_access/data\_pool</u> USGS Global Visualization Viewer (GloVis): <u>https://glovis.usgs.gov/</u> USGS EarthExplorer (EE): <u>https://earthexplorer.usgs.gov/</u> NASA Earthdata Search: <u>https://search.earthdata.nasa.gov/</u> NASA Reverb: <u>http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/</u>

# 2.5. Diferencia de las resoluciones de las plataformas y sensores.

Se ha realizado un análisis de las características que presenta la plataforma y el sensor, teniendo en cuenta su resolución. Cuadro 15. Diferencia de características de plataformas y sensores.

		PLATAFORMA					
DESCRIPCION	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8	SENTINEL 2	EOS TERRA	EOS (TERRA y AQUA)
Sensor	ТМ	ТМ	ETM+	OLI/ TIRS	MSI	ASTER	MODIS
Lanzamiento	16/07/1982	1/03/1984	15/04/1999	11/02/2013	Sentinel 2A: 23/06/2015 Sentinel 2B: 07/03/2017	18/12/1999	18/12/1999 (TERRA) 04/05/2002 (AQUA)
Altitud de órbita	705km	705km	705km	705km	786km	708km	708km (TERRA) 705km (AQUA)
Resolución Radiométrica	8bits	8bits	8bits	16bits	12bits	8bits (B1-9) 16bits (B10 -14)	12bits
Resolución Espacial (metros)	30m	30m	30m (B8 15m)	30m (B8 15m)	10m (banda 2, 3, 4 y 8) 20m (banda 5, 6, 7, 8A, 11 y 12) 60m (banda 1, 9 y 10)	15m (VNIR) 30m (SWIR) 90m (TIR)	250m (B1-2) 500m (B3-7) 1000m (B8-36)
Resolución espectral	7 bandas	7 bandas	8 bandas	11 bandas	13 bandas	14 bandas	36 bandas
Frecuencia de nuevas imágenes	16 días	16 días	16 días	16 días	5 días	16 días	1 día
Tamaño de la imagen	180km x 180km	180km x 180km	180km x 180km	185km x 185km	Ancho de franja de 290km	60km x 60km	2330km x 10km
Archivo	1982 - 1993	1984 - 2011	1999 - 2003 (SLC - ON) 2003 - Presente (SLC - OF)	2013 - Presente	2015 - Presente	2000 - Presente	2000 - Presente

Fuente: Elaboración propia

#### III. CORRECCIÓN ATMOSFERICA DE SUPERFICIE

#### 3.1. Corrección radiométrica y atmosférica en LandSat 4, 5 y 7

#### 3.1.1. Conversión ND a Radiancia en el sensor Landsat 4, 5 Y 7

La radiancia es el "Flujo de energía (principalmente energía irradiante o incidente) por ángulo sólido que abandona una unidad de área de una superficie en una dirección dada", "Radiancia es lo que mide el sensor y depende en cierta medida de la reflectancia" (NASA, 2011).

Las imágenes de Landsat son provistas en radiancia, escaladas previamente al resultado. Para imágenes Landsat, la Radiancia espectral en el sensor ( $L\lambda$ , medida en [vatios/ (metro cuadrado \* ster \*  $\mu m$ )]) está dada por las dos ecuaciones siguientes para determinar  $L_{\lambda}$  (<u>https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product</u>):

$$L_{\lambda} = ML * Qcal + AL$$

$$L_{\lambda} = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Qcalmax - Qcalmin}\right)(Qcal - Qcalmin) + LMIN_{\lambda}$$

Donde:

$$ML = \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Qcalmax - Qcalmin}\right)$$
$$AL = Lmin_{\lambda} - \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Qcalmax - Qcalmin}\right)Qcalmin$$

Donde:

$L_{\lambda}$	: Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).			
ML	: Factor Multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda).			
AL	: Factor Aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de banda).			
Qcal	: Valor de pixel discretizados y calibrados del producto estándar (Valor digitales DN).			
$LMAX_{\lambda}$	: Radiancia espectral máxima correspondiente a la banda Qcalx.			
LMIN <sub>λ</sub>	: Radiancia espectral mínima correspondiente a la banda Qcalx.			
Qcalmax	: Valor máximo del píxel, va depender de la resolución radiométrica, ejemplo de 8bits es 255.			
Qcalmin	: Valor mínimo del píxel, en este caso 1			

Estos parámetros anteriormente descritos se encuentran en el fichero de metadatos que incluye la imagen LandSat (MTL.txt).

#### 3.1.2. Conversión de radiancia a reflectancia aparente (TOA)

Esta conversión es conociendo el ángulo cenital solar que viene dado en los metadatos de la imagen y la distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen. Para poder utilizar la información radiométrica de la imagen en todas las facetas es necesario convertir la reflectancia aparente (TOA) a reflectividad de la superficie terrestre o también llamado corrección atmosférica.

Se va usar el método adoptado por USGS (United States Geological Survery) para la corrección atmosférica, el cual se basa en el modelo de transferencia radiactiva MODTRAN (Moderate resolution atmospheric transmission) (BERK *et al.,* 2005). Los objetivos de este método son eliminar de la radiancia recibida por el sensor los efectos de la absorción y dispersión causados por las moléculas y partículas atmosféricas en suspensión y en segundo lugar, convertir esa radiancia a valores de reflectividad de superficie, siendo este valor adimensional y expresado en tanto por uno. Para ello se usa la siguiente expresión:

$$p_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * SEN(\theta_{SE})} \qquad \qquad p_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * COS(\theta_{ZE})}$$

Donde:

- $p_{\lambda}$  : Reflectancia en el techo de la atmosfera del sensor
- $L_{\lambda}$  : Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).
- d : Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en Unidades Astronómicas (Calculado según una formula en función del día juliano).
- $ESUN_{\lambda}$  : Irradiancia Media Solar exo-atmosférica.
- $\theta_{SE}$  : Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en los metadatos (SUN\_ELEVATION).
- $\theta_{ZE}$  : Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a: 90°  $\theta_{SE}$ , donde  $\theta_{SE}$  es la elevación solar.

#### 3.1.2.1. Determinando Distancia Tierra-Sol

Para determinar el parámetro "*d*" también se puede calcular a partir de la siguiente formula (CHUVIECO, 2007):

d = 1 + 0.0167 \* (SENO((2 \* PI() \* ((Dia Juliano - 93.5)))/365)))

$$d = 1 - 0.0167 * COS(2 * PI() * (Dia Juliano - 3)/365)$$

d = 1 - 0.01672 \* COS(RADIANS(0.9856) \* (Día Juliano - 4))

El valor del parámetro "*d*" varía a lo largo del año entre 0.983 y 1.017 Unidades Astronómicas.

# 3.1.2.2. Determinando el valor Valores de irradiancia Media Sola exo-atmosférica $ESUN_{\lambda}$ (W /(m2 \* $\mu m$ ))

Para LandSat se encuentran en el siguiente cuadro:

Cuadro 16. Valores de irradiancia Media Sola exo-atmosférica  $ESUN_{\lambda}$  Landsat

Banda	Landsat 7 ETM +	Landsat 5 TM	Landsat 4 TM	Landsat 1-5 MSS
1	1970	1958	1958	1848
2	1842	1827	1826	1588
3	1547	1551	1554	1235
4	1044	1036	1033	856.6
5	225.7	214.9	214.7	
7	82.06	80.65	80.7	
8	1369			

Fuente: https://landsat.usgs.gov/esun

Si deseamos calcular  $ESUN_{\lambda}$ , podemos utilizar esta fórmula:

 $ESUN_{\lambda} = \frac{\pi * d^2 * RADIANCE_MAXIMUM}{REFLECTANCE_MAXIMUM}$ 

Fuente: https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/i.landsat.toar.html

Donde *RADIANCE\_MAXIMUM* y *REFLECTANCE\_MAXIMUM* son provistas en los metadatos de la imagen (\_MTL.txt).

#### 3.1.2.3. Conversión de grados SUN\_ELEVATION a radianes

Para convertir de grados a radianes el ángulo de elevación del sol local (SUN\_ELEVATION o  $\theta SE^{\circ}$ ), se utiliza la siguiente formula:

(*θSE*°)\* *π* /180 (*θZE*°)\* *π* /180

Donde:

- θ<sub>SE</sub> : Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en los metadatos (SUN\_ELEVATION).
- $\theta_{ZE}$  : Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a: 90°  $\theta_{SE}$ , donde  $\theta_{SE}$  es la elevación solar.

#### 3.2. Corrección radiométrica y atmosférica en LandSat 8

#### 3.2.1. Conversión ND a Radiancia en el sensor Landsat 8

Las imágenes Landsat 8 consisten en una serie cuantificada y calibrada de niveles digitales que pueden ser reescalados a valores de radiancia y reflectancia usando para ello los coeficientes radiométricos provistos en el archivo de metadato (\_MTL.txt), tal y como se describe a continuación:

$$L_{\lambda} = ML * Qcal + AL$$

Donde:

- $L_{\lambda}$  : Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).
- ML : Factor Multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de banda)
- AL : Factor Aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de banda)
- *Qcal* : Valor de pixel discretizados y calibrados del producto estándar (Valor digitales DN).

#### 3.2.2. Determinación reflectancia aparente (TOA) Landsat 8

Se usan los coeficientes de reflectancia suministrados en el archivo de metadatos. El siguiente algoritmo es usado para convertir los niveles digitales a valores de reflectancia:

$$\rho \lambda = \frac{M \rho * Q cal + A \rho}{\text{SEN } (\theta_{SE})} \qquad \qquad \rho \lambda = \frac{M \rho * Q cal + A \rho}{\text{COS } (\theta_{ZE})}$$

Donde:

- $\rho\lambda$ : Reflectancia TOA del sensor, con corrección del ángulo solar.
- *Qcal*: Valores de los píxeles de productos estándar cuantifican y calibrados (ND).
- *Mp:* Factor de cambio de escala multiplicativo (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de bandas).
- Ap: Banda especifica aditivo reescala el factor de los metadatos (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, donde x es el número de bandas).
- $\theta_{SE}$ : Ángulo de elevación del sol local. El ángulo de elevación del sol centro de la escena en grados se proporciona en los metadatos (SUN\_ELEVATION).
- $\theta_{ZE}$ : Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a: 90°  $\theta_{SE}$ , donde  $\theta_{SE}$  es la elevación solar.

Fuente: https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product

#### 3.3. Corrección radiométrica y atmosférica en ASTER L1T

#### 3.3.1. Conversión de ND a Radiancia espectral ASTER L1T

Los valores digitales de ocho bits de cada banda fueron transformados en valores de radiancia en la atmósfera superior. Este procedimiento, que evita pérdida de información, puede ser realizado utilizando la siguiente ecuación según ABRAMS y KOOK, 1999:

$$L_{\lambda} = (ND - 1) * UCC$$

Donde:

 $L_{\lambda}$  = Radiancia de la banda

- *UCC* = Coeficiente de transformación (Unidad de conversión del factor).
- *ND* = Reflectancia expresada como un valor digital de ocho bits.

Los factores de conversión son provistos por la NASA en cada meta archivo que acompaña a la imagen procesada a nivel L1B.

La radiación solar reflejada que detecta el sensor debe necesariamente atravesar la atmósfera, que está constituida por gases y polvo. Estos elementos producen un debilitamiento y distorsión de la respuesta debido a la absorción selectiva de algunas longitudes de onda en particular con respecto a otras, que llegan con mínimas perturbaciones hasta el sensor. Estos fenómenos pueden suprimirse aplicando una corrección atmosférica (GREEN *et al.* 1993).

Banda ASTER	Coeficiente de conversión - UCC	W/(m²*sr*µm)
B1	0.676	Ganancia alta
B2	0.708	Ganancia alta
B3N	0.862	Ganancia normal
B4	0.2174	Ganancia normal
B5	0.0696	Ganancia normal
B6	0.0625	Ganancia normal
В7	0.0597	Ganancia normal
B8	0.0417	Ganancia normal
В9	0.0318	Ganancia normal
B10	0.006822	Ganancia normal
B11	0.00678	Ganancia normal
B12	0.00659	Ganancia normal
B13	0.005693	Ganancia normal
B14	0.005225	Ganancia normal

Cuadro 17. Coeficiente de conversión datos ASTER

Fuente: ABRAMS y KOOK, 1999.

#### 3.3.2. Radiancia a Reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA) ASTER

Se calcula usando la ecuación de Landsat estándar de:

$$p_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda} * d^2}{ESUN_{\lambda} * SEN(\theta_{SE})}$$

Donde:

- $p_{\lambda}$  : Reflectancia en el techo de la atmosfera del sensor
- : Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).
- *d* : Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en Unidades Astronómicas (Calculado según una formula en función del día juliano).
- $ESUN_{\lambda}$  : Irradiancia Media Solar exo-atmosférica.
- $\theta_{SE}$  : Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en los metadatos (SUN\_ELEVATION).
- $\theta_{ZE}$  : Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a: 90°  $\theta_{SE}$ , donde  $\theta_{SE}$  es la elevación solar.

# 3.3.2.1. Determinando el valor Valores de irradiancia Media Sola exo-atmosférica $ESUN_{\lambda}$ (W /(m2 \* $\mu m$ ))

Los valores de ESUN [W /(m2 \*  $\mu m$ )] para el sensor ASTER se muestran en la siguiente tabla (SMITH, 2004). Valores de ESUN para bandas ASTER.

Cuadro 18. Irradiancia exoatmosférica para cada banda del sensor ASTER

Banda	ASTER
B1	1848
B2	1549
B3N	1114
B4	225.4
B5	86.63
B6	81.85
B7	74.85
B8	66.49
B9	59.85

Fuente: SMITH, 2004

# 3.4. Corrección atmosférica SENTINEL 2

Las imágenes de Sentinel-2 ya se proporcionan en reflectancia de TOA escalada, que puede convertirse en reflectancia de TOA con un cálculo simple utilizando el valor de cuantificación proporcionado en los metadatos, con esta fórmula:

$$p_{\lambda} = ND * 0.0001$$

Donde:

ND: Número digital de las bandas SENTINEL 2.

Para la corrección atmosférica aplicando DOS1 vamos a utilizar la irradiancia exoatmosférica para cada banda SENTINEL-2 para ello se menciona en el siguiente cuadro.

Cuadro 19. Irradiancia exoatmosférica para cada banda del SENTINEL 2

Banda	Sentinel-2
1	1913.57
2	1941.63
3	1822.61
4	1512.79
5	1425.56
6	1288.32
7	1163.19
8	1036.39
8A	955.19
9	813.04
10	367.15
11	245.59
12	85.25

Fuente: ANDRÉS, 2015.

#### 3.5. Corrección atmosférica MODIS – MOD09

Las imágenes de MODIS ya se proporcionan en reflectancia de superficie escalada, que puede convertirse en reflectancia de superficie con un cálculo simple utilizando un valor de cuantificación, con esta fórmula:

$$p_{\lambda} = ND^*0.0001$$

Donde:

ND: Número digital de las bandas MODIS

# 3.6. Corrección atmosférica por método de sustracción de superficie oscuras (DOS1) para satélites ASTER, Sentinel2A, Landsat 4, 5, 7 y 8.

El cálculo del valor de la reflectancia en superficie implica introducir algún tipo de corrección sobre el efecto que imprime la atmósfera sobre la señal recibida por el sensor (APN, 2005).

Para el cálculo la reflectividad de la superficie necesitamos estimar la transmisividad de la atmósfera (descendente  $T_v$  y ascendente  $T_Z$ ), la irradiancia difusa ( $E_{doun}$ ) y la radiancia atmosférica debida a la dispersión ( $L_p$ ).

La reflectancia de la superficie ( $p_s$ ), tal como lo describe Moran *et al.* (1992), es:

$$p_{s} = \frac{\pi * (L_{\lambda} - L_{p}) * d^{2}}{T_{v} * [(ESUN_{\lambda} * SEN_{(\theta SE)} * T_{Z}) + E_{doun}]}$$

Donde:

- $L_p$  : Es el efecto bruma, en ingles Path radiance
- $L\lambda$  : Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).
- d : Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en Unidades Astronómicas (Calculado según una formula en función del día juliano).
- $ESUN_{\lambda}$  : Irradiancia Media Solar exo-atmosférica.
- $E_{doun}$  : Es la irradiancia difusa descendiente, se considera igual a **cero** (Song. et al., 2001; Barnaby & Pellikka, 2003).
- $T_v$  : Es la transmitancia de la atmosfera en la dirección de visión.
- $T_Z$  : Es la transmitancia atmosférica en la dirección de iluminación.
- $\theta_{SE}$  : Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en los metadatos (SUN\_ELEVATION).



Reflectancia promedio de la superficie del pixel de Interés.

Figura 24.Radiancia recibida por el sensor remoto e interacciones atmósfera energía EM (modificado de JENSEN, 1996).

# 3.6.1. Calculo de las transmisividades

Para determinar la transmisividades " $T_v$ " y " $T_Z$ ", se va calcular con el espesor óptico para dispersión de Rayleigh (KAUFMAN, 1989).

$$\tau_r = 0.008569\lambda^{-4} (1 + 0.0113\lambda^{-2} + 0.00013\lambda^{-4})$$

$$\tau_{v} = exp^{\frac{\tau_{r}}{\overline{COS}_{(\theta V)}}} \qquad \tau_{Z} = exp^{\frac{\tau_{r}}{\overline{SEN}_{(\theta E)}}}$$

Donde:

- $\lambda$  : Valor promedio del rango espectral de la banda.
- $\tau_r$  : Espesor óptico para dispersión de Rayleigh.
- $\theta Z$  : Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a: 90°  $\theta_{SE}$
- $\theta V$  : El ángulo de observación del sensor, entonces el ángulo es 0° y COS (0°) = 1

#### 3.6.2. Calculo de la corrección DOS1

El Dark Object Substrction (DOS) o substracción de objeto oscuro es una familia de correcciones atmosféricas basadas en imagen. CHAVEZ (1996) explica que "la suposición básica es que en la imagen algunos píxeles están completamente en sombra, y sus radiancias recibidas en el satélite se deben a la dispersión atmosférica (efecto bruma). Esta suposición es combinada con el hecho de que muy pocos elementos en la superficie de la Tierra tienen un color negro absoluto, por lo tanto, una reflectancia asumida de uno por ciento es mejor que un cero por ciento". Es importante mencionar que la exactitud de las técnicas basadas en imagen es generalmente menor que las correcciones basadas en medidas físicas, pero son muy útiles cuando no están disponibles mediciones atmosféricas que puedan mejorar la estimación de la reflectancia de la superficie terrestre.

El efecto bruma es dado por (SOBRINO, et al., 2004):

$$L_P = L_{min} - L_{D01\%}$$

Donde:

- L<sub>min</sub> : "Radiancia que corresponde a un valor digital para el cual la suma de todos los píxeles con valores digitales menores o iguales a este valor es igual al 0.01 % de todos los píxeles de la imagen considerada" Sobrino, *et al.*, 2004), por lo tanto, la radiancia obtenida con ese valor de conteo digital (*DNmin*)
- $L_{DO1\%}$  : Radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0.01

En particular para imágenes Landsat:

$$L_{min} = ML * ND_{min} + AL$$

Donde:

 ML : Factor Multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de banda) AL : Factor Aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de banda).

*ND<sub>min</sub>* : Valor digital mínimo.

Las imágenes Sentinel-2 son convertidas a radiancia antes del cálculo DOS1.

La Radiancia de Objeto Oscuro es dada por (SOBRINO, et al., 2004):

$$L_{DO1\%} = \frac{0.01 * \left[ (ESUN_{\lambda} * SEN_{(\theta SE)} * T_Z) + E_{doun} \right] * T_v}{\pi * d^2}$$

Por lo tanto, el efecto bruma es:

$$L_P = L * ND_{min} + AL - \frac{0.01 * \left[ (ESUN_{\lambda} * SEN_{(\theta SE)} * T_Z) + E_{doun} \right] * T_v}{\pi * d^2}$$

Existen varias técnicas DOS (ejemplo: DOS1, DOS2, DOS3, DOS4), basadas en diferentes asunciones acerca de Tv, Tz, y  $E_{doun}$ . La técnica más simple es la DOS1, donde se hacen las siguientes suposiciones (MORAN *et al.*, 1992):

Donde:

$$T_{v} = 1$$
$$T_{z} = 1$$
$$E_{down} = 0$$

Por lo tanto, el efecto bruma es:

$$L_p = ML * ND_{min} + AL - \frac{0.01 * ESUN_{\lambda} * SEN_{(\theta SE)}}{\pi * d^2}$$

Y la reflectancia de superficie terrestre resultante está dada por:

$$p_{s} = \frac{\pi * (L_{\lambda} - L_{p}) * d^{2}}{ESUN_{\lambda} * SEN_{(\theta SE)}}$$

Donde:

- $L_p$  : Es el efecto bruma, en ingles Path radiance
- $L\lambda$  : Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite).
- d : Distancia Tierra-Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en Unidades Astronómicas (Calculado según una formula en función del día juliano).
- $ESUN_{\lambda}$  : Irradiancia Media Solar exo-atmosférica.
- $\theta_{SE}$  : Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en los metadatos (SUN\_ELEVATION).

# IV. CONVERSIÓN A TEMPERATURA DE BRILLO Y DE SUPERFICIE

# LANDSAT Y ASTER L1T

#### 4.1. Determinación de temperatura de Brillo

A partir de los valores de radiancia, utilizando las bandas térmicas fácilmente se puede derivar la temperatura a la altura del sensor. Las bandas del TIRS se pueden convertir a temperatura de brillo utilizando las constantes que están en el archivo de metadatos

$$T_b = \frac{K_2}{ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Fuente: https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product

Donde:

- $T_h$  : Temperatura de brillo aparente en grados.
- *L* $\lambda$  : Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite), unidad de medida (vatios/(metro cuadrado \* ster \*  $\mu m$ )
- K<sub>1</sub> : Es la constante de conversión térmica específica para cada banda termal, que lo encontramos en el metadato (K1\_CONSTANT\_BAND\_X), unidad de medida (en vatios /metro cuadrado \* ster \* μm)
- K<sub>2</sub> : Es la constante de conversión térmica específica para cada banda termal, que lo encontramos en el metadato (K2\_CONSTANT\_BAND\_X), unidad de medida (en grados kelvin).

Las constantes *K1* y *K2* para sensores Landsat son proporcionadas en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. Constantes de calibración de la banda térmica del satélite LandSat

Catálita	Bandas	К1	K2
Satente		W m-2 sr-1 μm-1	Kelvin
Landsat 4	6	671.62	1284.30
Landsat 5	6	607.76	1260.56
Landsat 7	6	666.09	1282.71
Landsat 8	10	774.89	1321.08
	11	480.89	1201.14

Fuente: Landsat 4, 5 - CHANDER y MARKHAM (2003); LandSat 7 - NASA (2011); LandSat 8 - (ALEXANDER, 2013).

*K*<sub>1</sub> y *K*<sub>2</sub> son calculadas como (JIMENEZ-MUNOZ & SOBRINO, 2010):

$$K_1 = \frac{C_1}{\lambda^5} \qquad \qquad K_2 = \frac{C_2}{\lambda}$$

Donde (MOHR, NEWELL, & TAYLOR, 2015):

 $C_1$  : Primera constante de radiación =  $1.191 * 10^{-16} Wm^2 sr^{-1}$ 

 $C_2$  : Segunda constante de radiación = 1.4388 \* 10<sup>-2</sup> mK

Por lo tanto, *K*1 y *K*2 para bandas ASTER se proporcionan en el siguiente cuadro.

Cuadro 21. Constantes de calibración de la banda térmica del satélite ASTER.

Satálita Banda	К1	К2	
Satente Banua		W m-2 sr-1 μm-1	Kelvin
ASTER	10	3024	1733
ASTER	11	2460	1663
ASTER	12	1909	1581
ASTER	13	890	1357
ASTER	14	646.4	1273

#### 4.2. Estimación de la temperatura de superficie del suelo

Varios estudios han descrito la estimación de la Temperatura de Superficie del Suelo. Ésta puede ser calculada a partir de la Temperatura de Brillo en el Satélite *TB* como (WENG, *et al.* 2004):

$$T_{S} = \frac{T_{b}}{\left[1 + \left(\frac{\lambda * T_{b}}{C_{2}}\right) * Ln_{LSE}\right]} - 273$$

Donde:

$T_s$	: Temperatura de Superficie del Suelo.
$T_b$	: Temperatura de brillo aparente.
<i>C</i> <sub>2</sub>	$h * \frac{c}{s} = 1.4388 * 10^{-2} m K$
h	: Constante de Planck $h = 6.626 * 10^{-34}$ Js
С	: Velocidad de la Luz $c = 2.998 * 10^8$ m/s
S	: Constante de Boltzmann $1.38 * 10^{-23}$ J/K
LSE	: Emisividad de la superficie – también conocido como "e".
λ	: Longitud de onda central de la banda térmica emitida según banda.

4.2.1. Determinación de la longitud de onda central de las bandas térmicas LandSat y ASTER Longitud de onda central del satélite LandSat 4, 5, 7 y 8, de sus respectivas bandas terminales

Satélite	Banda	Longitud de onda central (m)
Landsat 4, 5, y 7	6	11.45
Landsat 8	10	10.8
Landsat 8	11	12

Cuadro 22. Longitud de onda central del satélite LandSat 4, 5, 7 y 8

Fuente: Elaboracion propia

Longitud de onda central del satélite ASTER, de sus respectivas bandas terminales.

Cuadro 23. Longitud de onda central del satélite ASTER

Satélite	Banda	Longitud de onda central (m)
ASTER	10	8.3
ASTER	11	8.65
ASTER	12	9.1
ASTER	13	10.6
ASTER	14	11.3

Fuente: Elaboracion propia

# 4.2.2. Determinar el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Landsat 4, 5, 7, 8 y ASTER.

El Índice de Diferencia de Vegetación Normalizado, también conocido como NDVI (ROUSE *et al.*, 1974) por sus siglas en inglés. Es un índice usado para medir la diferencia normalizada entre las reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano, proporcionando una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en áreas extensas.

El NDVI (ROUSE *et al.* 1974) es el índice de vegetación más utilizado para todo tipo de aplicaciones. La razón fundamental es su sencillez de cálculo, y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y +1), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes, etc.

$$NDVI = \frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{RED})}{(\rho s_{NIR} + \rho s_{RED})}$$

Donde:

- NDVI : Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.
- $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda Infrarrojo cercano NIR.
- $\rho s_{RED}$  : Reflectancia de la banda roja RED

Utilizando en la formula en las imágenes Landsat y ASTER es:

#### 4.2.3. Determinar la fracción de vegetación - FV

Para determinar la fracción de vegetación se obtiene mediante la fórmula (CARLSON y RIPLEY, 1997):

$$FV = \left[\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right]^2$$

Donde:

FV : Fracción de vegetación

NDVI : Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NDVI<sub>max</sub> : Valor de NDVI máximo para la vegetación de mayor verdor = 0.5

 $NDVI_{min}$ : Valor de NDVI mínimo presente en el suelo desnudo = 0.2

# 4.2.4. Determinación de la emisividad de la superficie de la tierra - LSE

La clasificación del NDVI para determinar la emisividad de la superficie según (SOBRINO et al., 2004)

Cuadro 24. Comparativo de clasificación de NDVI.

Fuente		Área da Estudia			
ruente	1	3	2	Area de Estudio	
SOBRIO et al., 2004	NDVI < 0.2	NDVI > 0.5	0.2 ≤ NDVI ≥ 0.5	Valencia, España	
JIMÉNEZ - MUÑOZ 2009	NDVI < 0.18	NDVI > 0.85	0.18 ≤ NDVI ≥ 0.85	Albacete, España	
QUIN et al., 2011	NDVI < 0.2	NDVI > 0.65	0.2 ≤ NDVI ≥ 0.65	Tengchong, China	

Clasificación 1 = Es la cubierta de suelo desnudo y la emisividad del Suelo corresponde un valor medio de 0.97 (SOBRINO *et al.*, 2004).

 $NDVI < 0.2; LSE_1 = 0.97$ 

Clasificación 3 = Es la cubierta de vegetación con un valor contante para emisividad de la vegetación de 0.99 (SOBRINO *et al.*, 2004).

$$NDVI \ge 0.5; LSE_3 = 0.99$$

Clasificación 2 = Se refiere al caso de superficie heterogéneas y rugosas. Está compuesta de vegetación y suelo desnudo. Para este caso se va utilizar la siguiente ecuación para determinar la emisividad (SOBRINO *et al.*, 2004).

$$0.2 \le NDVI < 0.5; LSE_2 = 0.0986 + 0.004*FV$$

Donde:

- LSE : Emisividad de la superficie de la tierra
- NDVI : Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.
- FV : Fracción de vegetación.

# V. ÍNDICE DE VEGETACIÓN

El análisis de la vegetación y la detección de los cambios en los patrones de vegetación son claves para la evaluación y el monitoreo de recursos naturales. Entonces no resulta sorpresivo que la detección y la evaluación cuantitativa de la vegetación verde es una de las aplicaciones principales de la teledetección para el manejo de recursos naturales y la toma de decisiones (EASTMAN, 2003).

La clorofila absorbe energía fuertemente en las bandas centradas en 0.45 y 0.67 µm. Es por ello que nuestros ojos perciben la vegetación sana de color verde, debido a la gran absorción en azul y rojo por las hojas y la reflexión en el verde. Cuando la vegetación no está sana, disminuye la clorofila, y el resultado es un incremento de la reflectancia espectral en el rojo, por lo que las hojas se ven con un tono amarillento (mezcla de verde y rojo).

#### 5.1. Fundamentos de la vegetación

### 5.1.1. Comportamiento espectral de la hoja

La clorofila no absorbe toda la luz del sol uniformemente, Las moléculas de clorofila preferentemente absorben la luz roja y azul para usar en la fotosíntesis. Ellas deben absorber tanta cantidad como 70% a 90% de la luz incidente en esas regiones. Mucho menos cantidad de la luz verde es absorbida y más es reflejada, entonces el observador humano, que puede ver sólo el espectro visible, observa la reflexión dominante de la luz verde como vegetación viva



Figura 25. Espectro de absorción para la clorofila



Azul Verde Rojo Infrarrojo cercano

Figura 26.Reflectancia espectral típica de una hoja viva.

Muy poca de esta energía infrarroja es absorbida internamente, es principalmente (por encima del 60%) esparcida de manera ascendente (la que se llama energía reflectada) o descendente (energía trasmitida). Entonces la estructura interna de la hoja es responsable por el brillo de la reflectancia infrarroja de la vegetación viva.

Este comportamiento explica la gran utilidad del espectro infrarrojo cercano para los estudios de vegetación y, por supuesto, facilita la separación de las superficies de vegetación de las superficies sin vegetación, que son usualmente muy oscuras en el infrarrojo cercano. Además las diferencias en la reflectancia de las especies de plantas frecuentemente son más pronunciadas en el infrarrojo cercano.



Figura 27.Las diferencias entre las clases de vegetación se distinguen mejor en el infrarrojo que en el visible.

Entonces, los cambios en el vigor de la vegetación y las imágenes del infrarrojo han sido valiosos en la detección y mapeo de presencia,
distribución, y extensión de los cultivos enfermos e infestaciones de insectos. Además, los cambios en la estructura de la hoja que acompañan la madurez natural de los cultivos están sujetos a detección con imágenes del infrarrojo.

La signatura espectral característica de la vegetación sana muestra un claro comportamiento entre las bandas roja (0.6 a 0.7  $\mu$ m) y el infrarrojo cercano (0.7 a 1.1  $\mu$ m). Se produce un notable contraste espectral entre la banda RED del espectro y la de la NIR, lo que permite separar la vegetación sana de otras cubiertas (CHUVIECO, 2008).



Figura 28.Contraste espectral de la vegetación sana entre las bandas RED e NIR del espectro

Cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, su reflectividad será inferior en el NIR, aumentando paralelamente en el rojo (al tener menor absorción clorofílica), con lo que el contraste en ambas capas será mucho menor. Los índices más empleados son el cociente simple entre las bandas (Ci), y el denominado índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) propuesto originalmente por ROUSE et al, (1974).

### 5.2. Tipos de índices

### 5.2.1. Índice de vegetación proporcionada - RATIO

El cociente simple (Ci) representa la relación entre las reflectividades del infrarrojo cercano y del rojo. Se ha usado para estimaciones de biomasa e índice de área foliar (LAI) desde 1969 referencia (JORDAN, 1969).

$$RATIO = \frac{(\rho s_{NIR})}{(\rho s_{RED})}$$

Donde:

*RATIO* : Índice de vegetación proporcionada

 $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda Infrarrojo cercano – NIR.

 $\rho s_{RED}$  : Reflectancia de la banda roja - RED

Por lo tanto, en los satélites:

$$RATIO = \frac{(\rho s_{B4})}{(\rho s_{B3})} \dots \dots Landsat 5,7$$

$$RATIO = \frac{(\rho s_{B5})}{(\rho s_{B4})} \dots \dots Landsat 8$$

$$RATIO = \frac{(\rho s_{B3N})}{(\rho s_{B2})} \dots \dots ASTER L1T$$

$$RATIO = \frac{(\rho s_{B8A})}{(\rho s_{B4})} \dots \dots SENTINEL - 2$$

$$RATIO = \frac{(\rho s_{B2})}{(\rho s_{B1})} \dots \dots MODIS - MOD09$$

### 5.2.2. Índice Vegetación Diferencial - DVI

Diferencia entre las bandas infrarrojo cercana (IRC) y rojo (R) de un sensor

$$DVI = \rho s_{NIR} - \rho s_{RED}$$

Por lo tanto, en los satélites:

$$DVI = \rho s_{B4} - \rho s_{B3} \dots \dots \dots \dots LandSat 5,7$$
  

$$DVI = \rho s_{B5} - \rho s_{B4} \dots \dots \dots LandSat 8$$
  

$$DVI = \rho s_{B3N} - \rho s_{B2} \dots \dots \dots ASTER L1T$$
  

$$DVI = \rho s_{B8A} - \rho s_{B4} \dots \dots \dots SENTINEL - 2$$
  

$$DVI = \rho s_{B2} - \rho s_{B1} \dots \dots \dots MODIS - MOD09$$

### 5.2.3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada - NDVI

El Índice de Diferencia de Vegetación Normalizado, también conocido como NDVI (ROUSE *et al.*, 1974) por sus siglas en inglés. Es un índice usado para medir la diferencia normalizada entre las reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano, proporcionando una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigorosidad en áreas extensas.

$$NDVI = \frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{RED})}{(\rho s_{NIR} + \rho s_{RED})}$$

Por lo tanto, en los satélites:



Figura 29. Ejemplo de cálculo y valor de NDVI

VALOR NDVI	Descripción
< 0	El material inanimado/ muerto, por ejemplo: carretera, edificios, el suelo o las plantas muertas.
0 -> 0.33	Material vegetativo no saludable
0.33 -> 0.66	Material vegetativo sano
-> 0.66	Material vegetal muy saludable
-1	0 +1

Fuente: Adaptado de Earth Observatory (NASA)

### 5.2.4. Índice de vegetación mejorada – EVI

se optimizó a partir del NDVI aumentando la sensibilidad en las regiones de alta biomasa y mejoró el monitoreo de la vegetación mediante la disociación de la señal del fondo del dosel y una reducción de la influencia atmosférica. La ecuación utilizada para su obtención se indica a continuación:

$$EVI = G * \frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{RED})}{(\rho s_{NIR} + C_1 \rho s_{RED} - C_2 * \rho s_{BLUE} + L)}$$

Donde:

- $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda Infrarrojo cercano NIR.
- $\rho s_{RED}$  : Reflectancia de la banda roja RED
- $\rho s_{BLUE}$  : Reflectancia de la banda azul BLUE
- *L* : Ajuste del fondo del dosel, siendo L = 1.
- G : Factor de ganancia, siendo G = 2.5
- $C_1$  : Coeficientes de resistencia de aerosoles, siendo  $C_1 = 6$

 $C_2$  : Coeficientes de resistencia de aerosoles, siendo C2 = 7.5

Por lo tanto:

### 5.2.5. Índice de vegetación Transformado - TVI

DERING y colaboradores citados por EASTMAN (2003), modifica el NDVI agregando una constante de 0.5 a todos sus valores y calculando la raíz cuadrada de los resultados. La constante 0.5 se introduce para evitar operar con valores negativos del NDVI. El cálculo de la raíz cuadrada se emplea para corregir los valores del NDVI que se aproximan a una distribución Poison e introducir una distribución normal. Con estos dos elementos, el TVI toma la siguiente forma:

$$TVI = \sqrt{\frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{RED})}{(\rho s_{NIR} + \rho s_{RED})}} + 0.5$$

Por lo tanto, en los satélites:

$$TVI = \sqrt{\frac{(\rho s_{B4} - \rho s_{B3})}{(\rho s_{B4} + \rho s_{B3})}} + 0.5 \dots LandSat 5,7$$

$$TVI = \sqrt{\frac{(\rho s_{B5} - \rho s_{B4})}{(\rho s_{B5} + \rho s_{B4})}} + 0.5 \dots LandSat 8$$

$$TVI = \sqrt{\frac{(\rho s_{B3N} - \rho s_{B2})}{(\rho s_{B3N} + \rho s_{B2})}} + 0.5 \dots ASTER L1T$$

$$TVI = \sqrt{\frac{(\rho s_{B8A} - \rho s_{B4})}{(\rho s_{B8A} + \rho s_{B4})}} + 0.5 \dots SENTINEL - 2$$

$$TVI = \sqrt{\frac{(\rho s_{B2} - \rho s_{B1})}{(\rho s_{B2} + \rho s_{B1})}} + 0.5 \dots MODIS - MOD09$$

#### 5.2.6. Índice de vegetación Transformado Corregido - CTVI

Propuesto por PERRY y LAUTENSCHLAGER citados por EASTMAN (2003), apunta a corregir el TVI. Resulta obvio que agregar una constante de 0.5 a todos los valores del NDVI no siempre elimina los valores negativos porque los valores del NDVI pueden tener el rango -1 a +1. Los valores menores que -0.5 dejan pequeños valores negativos luego de la operación de adición. Entonces, el CTVI se realiza para resolver esta

situación al dividir (NDVI + 0.50) por su valor absoluto y multiplicar el resultado por la raíz cuadrada del valor absoluto. Esto suprime el NDVI negativo. La ecuación se escribe:

$$CTVI = \frac{NDVI + 0.5}{ABS(NDVI + 0.5)} \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$$

#### 5.2.7. Índice de Vegetación Atmosféricamente Resistente - ARVI

Kaufman y Tanré, citados por Chuvieco (2008) proponen un ajuste del NDVI a las condiciones atmosféricas, teniendo en cuenta la diferente dispersión de los canales azul y rojo del espectro. De esta forma se define el ARVI de la siguiente manera:

$$ARVI = \frac{\rho s_{NIR} - (\rho s_{RED} - 1) * (\rho s_{RED} - \rho s_{BLU})}{\rho s_{NIR} + (\rho s_{RED} - 1) * (\rho s_{RED} - \rho s_{BLU})}$$

Donde:

 $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda infrarrojo cercano – NIR.

 $\rho s_{RED}$  : Reflectancia de la banda roja – RED.

 $\rho s_{BLU}$  : Reflectancia de la banda azul – BLU.

Por lo tanto, en los satélites:

$$ARVI = \frac{\rho s_{B4} - (\rho s_{B3} - 1) * (\rho s_{B3} - \rho s_{B1})}{\rho s_{B4} + (\rho s_{B3} - 1) * (\rho s_{B3} - \rho s_{B1})} \dots \dots \dots \dots LandSat 5,7$$

$$ARVI = \frac{\rho s_{B5} - (\rho s_{B4} - 1) * (\rho s_{B4} - \rho s_{B2})}{\rho s_{B5} + (\rho s_{B4} - 1) * (\rho s_{B4} - \rho s_{B2})} \dots \dots \dots \dots LandSat 8$$

$$ARVI = \frac{\rho s_{B3A} - (\rho s_{B4} - 1) * (\rho s_{B4} - \rho s_{B2})}{\rho s_{B3A} + (\rho s_{B4} - 1) * (\rho s_{B4} - \rho s_{B2})} \dots \dots \dots SENTINEL - 2$$

$$ARVI = \frac{\rho s_{B2} - (\rho s_{B1} - 1) * (\rho s_{B1} - \rho s_{B3})}{\rho s_{B2} + (\rho s_{B1} - 1) * (\rho s_{B1} - \rho s_{B3})} \dots \dots MODIS - MOD09$$

#### 5.2.8. Índice de Vegetación Avanzada - AVI

Es un indicador numérico, similar a NDVI, que utiliza las bandas espectrales rojo y del infrarrojo cercano. Al igual que el NDVI, AVI se utiliza en estudios de vegetación para controlar las variaciones de los cultivos y forestales a través del tiempo. A través de la combinación de múltiples temporales de la AVI y el NDVI, los usuarios pueden discriminar diferentes tipos de vegetación y fenología extraer características / parámetros.

$$AVI = \sqrt[3]{(\rho s_{NIR} * (1 - \rho s_{RED}) * (\rho s_{NIR} - \rho s_{RED}))}$$

Por lo tanto, en los satélites:

$$AVI = \sqrt[3]{(\rho s_{B4} * (1 - \rho s_{B3}) * (\rho s_{B4} - \rho s_{B3})} \dots \dots \dots LandSat 5, 7$$
$$AVI = \sqrt[3]{(\rho s_{B5} * (1 - \rho s_{B4}) * (\rho s_{B5} - \rho s_{B4})} \dots \dots \dots LandSat 8$$
$$AVI = \sqrt[3]{(\rho s_{B3N} * (1 - \rho s_{B2}) * (\rho s_{B3N} - \rho s_{B2})} \dots \dots \dots ASTER L1T$$
$$AVI = \sqrt[3]{(\rho s_{B8A} * (1 - \rho s_{B4}) * (\rho s_{B8A} - \rho s_{B4})} \dots \dots SENTINEL - 2$$
$$AVI = \sqrt[3]{(\rho s_{B2} * (1 - \rho s_{B1}) * (\rho s_{B2} - \rho s_{B1})} \dots \dots MODIS - MOD09$$

### 5.2.9. Índice de vegetación Ajustado al Suelo - SAVI

Fue desarrollado por Huete en 1988. Se trata de un índice muy adecuado para trabajos en zonas semiáridas, donde la contribución del suelo es muy importante. Así cuando se realice un estudio sobre una zona de estas características, este índice resultará más consistente que el NDVI, gracias a esa mayor distinción entre el suelo y la vegetación.

$$SAVI = \frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{RED})}{(\rho s_{NIR} + \rho s_{RED} + L)} * (1 + L)$$

L = 0.5, si L sería 0, entonces SAVI es igual al NDVI.

Por lo tanto, en los satélites:

$$SAVI = \frac{(\rho s_{B4} - \rho s_{B3})}{(\rho s_{B4} + \rho s_{B3} + L)} * (1 + L) \dots Landsat 5,7$$

$$SAVI = \frac{(\rho s_{B5} - \rho s_{B4})}{(\rho s_{B5} + \rho s_{B4} + L)} * (1 + L) \dots Landsat 8$$

$$SAVI = \frac{(\rho s_{B3N} - \rho s_{B2})}{(\rho s_{B3N} + \rho s_{B2} + L)} * (1 + L) \dots ASTER L1T$$

$$SAVI = \frac{(\rho s_{B3A} - \rho s_{B4})}{(\rho s_{B3A} + \rho s_{B4} + L)} * (1 + L) \dots SENTINEL - 2$$

$$SAVI = \frac{(\rho s_{B2} - \rho s_{B1})}{(\rho s_{B2} + \rho s_{B1} + L)} * (1 + L) \dots MODIS - MOD09$$

### 5.2.10. Índice de Área foliar – LAI

El área foliar está definida por toda la vegetación por unidad de área utilizada por la vegetación. El LAI es un indicador de la biomasa de cada pixel de la imagen (SEBAL 2002).

$$LAI = \frac{\ln\left[\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right]}{0.91}$$

Donde:

SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo

### 5.2.11. Índice de Suelo desnudo - BSI

Es un indicador numérico que combina azul, rojo, onda corta infrarroja y bandas espectrales del infrarrojo cercano para capturar las variaciones del suelo. Estas bandas espectrales se utilizan de una manera normalizada. Las bandas infrarrojas de onda corta y las bandas espectrales rojos se utilizan para cuantificar la composición mineral del suelo, mientras que el azul y los cerca de bandas espectrales de infrarrojos se utilizan para mejorar la presencia de vegetación.

BSI puede ser utilizado en numerosas aplicaciones de teledetección, como el mapeo de suelos, identificación de cultivos (en combinación con el NDVI), etc.

$$BSI = \frac{(\rho s_{SWIR1} + \rho s_{RED}) - (\rho s_{NIR} + \rho s_{BLU})}{(\rho s_{SWIR1} + \rho s_{RED}) + (\rho s_{NIR} + \rho s_{BLU})}$$

Donde:

$$\rho s_{NIR}$$
 : Reflectancia de la banda infrarrojo cercano – NIR.

 $\rho s_{RED}$  : Reflectancia de la banda roja – RED.

 $\rho s_{BLU}$  : Reflectancia de la banda azul – BLU.

 $ho s_{SWIR1}$ : Reflectancia de la banda infrarrojo de onda corta 1 – SWIR1. Por lo tanto, en los satélites:

### 5.2.12. Índice de Diferencia Normalizada Agua - NDWI

Es un indicador numérico, derivada de imágenes satelitales ópticas, usando las ondas de infrarrojo cercano y corta las bandas espectrales del infrarrojo. Esta última banda espectral está muy asociada con cambios en el contenido de agua de vegetación y la estructura de mesófilo esponjoso en las cubiertas vegetales. La respuesta del infrarrojo cercano banda espectral se correlaciona con la estructura interna de la hoja y la hoja de materia seca, excluyendo el contenido de agua.

NDWI es útil en muchas aplicaciones de teledetección. Vigilancia de los cultivos de la salud, la cartografía de la tierra / agua de embarque, la discriminación de agua hacia el interior de los cuerpos de agua de mar abierto, son sólo algunas de las aplicaciones donde se utiliza NDWI.

$$NDWI = \frac{(\rho s_{GRE} - \rho s_{NIR})}{(\rho s_{GRE} + \rho s_{NIR})}$$

Donde:

 $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda infrarrojo cercano – NIR.

.

 $\rho s_{GRE}$  : Reflectancia de la banda verde – GRE

Por lo tanto, en los satélites:

$$NDWI = \frac{(\rho s_{B2} - \rho s_{B4})}{(\rho s_{B2} + \rho s_{B4})} \qquad \dots \qquad LandSat 5,7$$

$$NDWI = \frac{(\rho s_{B3} - \rho s_{B5})}{(\rho s_{B3} + \rho s_{B5})} \qquad \dots \qquad LandSat 8$$

$$NDWI = \frac{(\rho s_{B1} - \rho s_{B3N})}{(\rho s_{B1} + \rho s_{B3N})} \qquad \dots \qquad ASTER \ L1T$$

$$NDWI = \frac{(\rho s_{B3} - \rho s_{B8A})}{(\rho s_{B3} + \rho s_{B8A})} \qquad \dots \qquad SENTINEL - 2$$

$$NDWI = \frac{(\rho s_{B4} - \rho s_{B2})}{(\rho s_{B4} + \rho s_{B2})} \qquad \dots \qquad MODIS - MOD09$$

#### 5.2.13. Índice de estrés Hídrico - MSI

De todos los índices de uso común no miden el verdor, el más conocido es el denominado MSI – Moisture Stress Index o Índice de Estrés Hídrico (ROCK *et al.* 1985), que combina las reflectividades captadas en el infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo medio (SWIR). En las La banda NIR responde a la biomasa presente; y la banda SWIR es fuertemente afectada por el contenido de agua en la planta.

El Índice de Estrés hídrico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$MSI = \frac{\rho s_{SWIR}}{\rho s_{NIR}}$$

Donde:

 $ho s_{SWIR}$  : Reflectancia de la banda infrarrojo medio – SWIR.  $ho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda infrarrojo cercano – NIR. Por lo tanto, en los satélites:

$$MSI = \frac{\rho s_{B5}}{\rho s_{B4}} \dots \dots \dots LandSat 5,7$$
$$MSI = \frac{\rho s_{B6}}{\rho s_{B5}} \dots \dots \dots LandSat 8$$
$$MSI = \frac{\rho s_{B4}}{\rho s_{B3}} \dots \dots \dots ASTER L1T$$
$$MSI = \frac{\rho s_{B11}}{\rho s_{B8A}} \dots \dots \dots SENTINEL2$$
$$MSI = \frac{\rho s_{B6}}{\rho s_{B2}} \dots \dots \dots MODIS MOD09$$

El MSI puede ser una alternativa para conocer el estado de estrés hídrico de un cultivo o una cobertura vegetal, y está relacionado con la temperatura de la planta y la humedad aprovechable del suelo (PALACIOS et al., 2012).

#### 5.2.14. Índice Normalizado de Diferencia de Nieve - NDSI

Es un indicador numérico que pone de relieve la cubierta de nieve en las zonas terrestres. La onda verde y corta las bandas espectrales infrarrojos se utilizan mapa la extensión de la capa de nieve. La nieve y las nubes reflejan la mayor parte de la radiación incidente en la banda visible. Sin embargo, la nieve absorbe la mayor parte de la radiación incidente en el infrarrojo de onda corta, mientras que las nubes no lo hacen. Esto permite que el NDSI para distinguir la nieve de las nubes.

NDSI se utiliza comúnmente en la capa de nieve / hielo aplicaciones de mapas y también se puede utilizar, subsidiaria, en la vigilancia de glaciares.

$$NDSI = \frac{(\rho s_{GRE} - \rho s_{SWIR1})}{(\rho s_{GRE} + \rho s_{SWIR1})}$$

Donde:

 $\rho s_{GRE}$  : Reflectancia de la banda verde – GRE

 $ho s_{SWIR1}$ : Reflectancia de la banda infrarrojo de onda corta 1 – SWIR1. Por lo tanto, en los satélites:

`

### 5.2.15. Índice de Diferencia Normalizada de humedad - NDMI

Es un indicador numérico, que se utiliza en combinación con otros índices de vegetación (NDVI y / o AVI), que se asocia con la humedad de la vegetación. NDIM utiliza las ondas de infrarrojos y corta las bandas espectrales del infrarrojo cercano para capturar las variaciones de la humedad en las zonas con vegetación.

Vigilancia de la sequía y cambios sutiles en las condiciones de humedad de la vegetación son aplicaciones de teledetección, donde NDWI es aplicable. NDIM también se puede utilizar para determinar las humedades de combustible para las evaluaciones del peligro de incendios forestales.

$$NDMI = \frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{SWIR1})}{(\rho s_{NIR} + \rho s_{SWIR1})}$$

Donde:

 $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda infrarrojo cercano – NIR.

 $ho s_{SWIR1}$ : Reflectancia de la banda infrarrojo de onda corta 1 – SWIR1. Por lo tanto, en los satélites:

$$NDMI = \frac{(\rho s_{B4} - \rho s_{B5})}{(\rho s_{B4} + \rho s_{B5})} \dots \dots \dots \dots \dots LandSat 5,7$$

$$NDMI = \frac{(\rho s_{B5} - \rho s_{B6})}{(\rho s_{B5} + \rho s_{B6})} \dots \dots LandSat 8$$
$$NDMI = \frac{(\rho s_{B3N} - \rho s_{B4})}{(\rho s_{B3N} + \rho s_{B4})} \dots \dots ASTER \ L1T$$
$$NDMI = \frac{(\rho s_{B8A} - \rho s_{B11})}{(\rho s_{B8A} + \rho s_{B11})} \dots SENTINEL - 2$$
$$NDMI = \frac{(\rho s_{B2} - \rho s_{B6})}{(\rho s_{B2} + \rho s_{B6})} \dots \dots MODIS - MOD09$$

### 5.2.16. Índice Normalizado de Áreas Quemadas - NBRI

Los incendios forestales son un hecho por el hombre grave o fenómenos naturales que destruyen los recursos naturales, la acción viva, desequilibra el medio ambiente local, liberan gran cantidad de Gases de Efecto Invernadero etc. La comunidad científica ha introducido la Relación de Quemados Índice Normalizado (NBRI) para estimar la gravedad de los incendios, principalmente en las zonas boscosas. NBRI se aprovecha de las ondas de infrarrojos y corta las bandas espectrales del infrarrojo cercano, que son sensibles a los cambios de vegetación, para detectar áreas quemadas y supervisar la recuperación del ecosistema.

$$NBRI = \frac{(\rho s_{NIR} - \rho s_{SWIR2})}{(\rho s_{NIR} + \rho s_{SWIR2})}$$

Donde:

 $\rho s_{NIR}$  : Reflectancia de la banda infrarrojo cercano – NIR.

 $\rho s_{SWIR2}$ : Reflectancia de la banda infrarrojo de onda corta 2 – SWIR2. Por lo tanto, en los satélites:

# VI. COMPOSICION DE BANDAS LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER Y MODIS

Una composición de bandas es una imagen compuesta por la combinación de tres bandas diferentes del sensor y dispuestas cada una en los tres canales de proyección en pantalla: **Rojo (R), Verde (G) y Azul (B).** La escena en RGB resulta en una imagen a color.

**Combinación RGB** Aplicación SENTINEL MODIS LandSat LandSat principal/Descripción ASTER MOD09 4, 5 y 7 8 2 Color Natural/ Es una composición 4,3,2 1,4,3 3,2,1 4,3,2 que se aproxima al color real de las coberturas ante la vista humana. Infrarrojo Color/ Esta combinación da como resultado una imagen muy similar a la tradicional fotografía aérea infrarrojo color. Es útil para estudios de vegetación, patrones de 8A,4,3 2,1,4 3,2,1 4,3,2 5,4,3 suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes. La vegetación saludable tiende a una apariencia rojo brillante. Combinación útil para diferenciar 8A,11,4 2,6,1 5,6,4 tierra / agua y para destacar áreas de 3,4,2 4,5,3 bosque. 11,8A,4 6,2,1 4,3,2 5,4,3 6,5,4 Análisis de vegetación. 7,2,4 12,8A,3 7,3,1 7,4,2 7,5,3 Natural con remoción atmosférica. 12,8A,4 7,2,1 7,3,2 7,5,4 7,4,3 Combinación de infrarrojos. Permite destacar formaciones 12,11,4 7,6,1 7,4,2 7,5,3 7,6,4 rocosas. También útil para para distinguir áreas urbanas. Penetración Atmosférica/ Debido a que no incorpora bandas del espectro visible esta combinación 12,11,8A 7,6,2 7,4,3 7,5,4 7,6,5 reduce las influencias atmosféricas en la imagen. Es útil para estudios geológicos, así como para análisis de humedad en suelos. Geología/ Permite destacar 12,4,2 7,1,3 7,3,1 7,4,2 elementos geológicos. 6,2,3 11,8A,2 5,4,1 6,5,2 Agricultura. Combinación útil para distinguir 8A,11,2 2,6,3 4,5,1 5,6,2 vegetación saludable. 2.11.12 3.6.7 1,5,7 2,6,7 Nieve y Nube.

Cuadro 25. Principales combinaciones de las bandas de los satélites.

Fuente: https://lv.eosda.com/

### 6.1. Descripción de las bandas espectrales

**Banda Azul (0.45 – 0.52µm):** Diseñada para penetración en cuerpos de agua, es útil para el mapeo de costas, para diferenciar entre suelo y vegetación y para clasificar distintos cubrimientos boscosos, por ejemplo conífero y latifoliadas. También es útil para diferenciar los diferentes tipos de rocas presentes en la superficie terrestre.

**Banda Verde (0.52 – 0.60 μm):** Especialmente diseñada para evaluar el vigor de la vegetación sana, midiendo su pico de reflectancia (o radiancia) verde. También es útil para diferenciar tipos de rocas y, al igual que la banda 1, para detectar la presencia o no de limonita.

**Banda Roja (0.63 – 0.69 μm):** Es una banda de absorción de clorofila, muy útil para la clasificación de la cubierta vegetal. También sirve en la diferenciación de las distintas rocas y para detectar limonita.

**Banda IR cercano (0.76 – 0.90 µm):** Es útil para determinar el contenido de biomasa, para la delimitación de cuerpos de agua y para la clasificación de las rocas.

**Banda IR medio (1.55 – 1.75 \mum):** Indicativa del contenido de humedad de la vegetación y del suelo. También sirve para discriminar entre nieve y nubes.

**Banda Térmica (10.4 – 12.5 μm):** El infrarrojo termal es útil en el análisis del stress de la vegetación, en la determinación de la humedad del suelo y en el mapeo de temperatura.

## LC80070662014250LGN00



# LC80070662014250LGN00



# LT50070662001214CUB01



# LT50070662001214CUB01



# S2A\_OPER\_MSI\_L1C\_TL\_MTI\_\_20160804T214646\_A005842\_T18LVR\_N02.04



## S2A\_OPER\_MSI\_L1C\_TL\_MTI\_\_20160804T214646\_A005842\_T18LVR\_N02.04



## MOD09GA.A2017202.h10v09.006.2017204031144.hdf



# MOD09GA.A2017202.h10v09.006.2017204031144.hdf







94

# AST\_L1T\_00305132006152046\_20150514092214\_29464.hdf



# AST\_L1T\_00305132006152046\_20150514092214\_29464.hdf





## VII. MODELO DIGITAL DE TERRENO - MDT

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno (**MDT**). Constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo.

Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente ráster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (**MDE**), entre otros que almacenan (Pendiente, Relieve, Orientación, Mapa de sombra, etc.).

El **MDE** se le conoce como terreno desnudo o sin vegetación, mientras que el Modelo Digital de Superficie (**MDS**) se define el terreno y las cosas sobre él, incluido los edificios, la cubierta forestal, puentes, entre otros.

## 7.1. Tipos de Modelo Digital de Elevación

Un MDE es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno, siendo una distribución continua.



Figura 30. Modelo digital de elevación y su representación.

### 7.1.1. Misión de la topografía del radar espacial (SRTM)

Los conjuntos de datos SRTM de la NASA se lanzó el 11 de febrero del 2000 es el resultado de un esfuerzo de colaboración entre la NASA y la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA), así como la participación de la Agencia Nacional de Imágenes y Cartografía (NIMA) las agencias espaciales alemanas e italianas, para generar un modelo de elevación digital (MDE) casi global de la Tierra mediante interferometría de radar. Su fin es obtener un modelo digital de elevación de la zona del globo terráqueo entre 56° S a 60° N, de modo que genere una completa base de mapas topográficos digitales de alta resolución de la Tierra.

A finales del 2014, la mayor resolución posible los datos SRTM se dio a conocer al público. este modelo de elevación digital global de 1 arco tiene una resolución espacial de unos 30 metros que cubre la mayor parte del mundo.

## 7.1.1.1. Característica NASA SRTMGL1.003

Extensión geográfica: 60° N y 56° S Dimensión imagen: 3601x3601 Formato: HGT Datum: WGS84 Resolución espacial: 1 segundo de arco (30 m)

### 7.1.1.2. Acceso de descargar

LP DAAC Global Data Explorer: <u>https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/</u> USGS EarthExplorer (EE): <u>https://earthexplorer.usgs.gov/</u> LP DAAC: <u>https://reverb.echo.nasa.gov/</u> o <u>https://search.earthdata.nasa.gov/</u> LP DAAC datos directos: <u>https://lpdaac.usgs.gov/data\_access/data\_pool</u>

### 7.1.2. Modelo Digital de Elevación Global – GDEM ASTER

El Modelo de Elevación Digital Global de Emisiones Térmicas Espaciales y Radiómetro de Reflexión (ASTER) fue desarrollado conjuntamente por la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA) y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI).

El ASTER cubre superficies de tierra entre 83 ° N y 83 ° S y está compuesto por 22,702 ráster. El GDEM ASTER se distribuye como archivos de formato (GeoTIFF) con coordenadas geográficas (latitud, longitud). Los datos se colocan en una cuadrícula de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m en el ecuador) y se hace referencia al geoide del Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84).

El GDEM 2 de ASTER se beneficia de mejoras sustanciales con respecto al GDEM 1, se advierte a los usuarios que los productos todavía pueden contener anomalías y artefactos que reducirán su usabilidad para ciertas aplicaciones, ya que pueden introducir grandes errores de elevación en escalas locales.

### 7.1.2.1. Característica del GDEM ASTER 2

Extensión geográfica: 83° N y 83° S Dimensión imagen: 3601x3601 Formato: GEOTIFF Datum: WGS84 Resolución espacial: 1 segundo de arco (30 m)

### 7.1.2.2. Acceso de descargar:

LP DAAC Global Data Explorer: <u>https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/</u> USGS EarthExplorer (EE): <u>http://earthexplorer.usgs.gov/</u> LP DAAC Reverb: https://reverb.echo.nasa.gov/ o https://search.earthdata.nasa.gov/

### 7.1.3. ALOS World 3D - 30m (AW3D30)

La Agencia de Exploración Aeroespacial de Japón (JAXA) publica el conjunto de datos del modelo de superficie digital (MDS) global con una resolución espacial de pixel de 30 metros de forma gratuita. El conjunto de datos ha sido compilado con imágenes adquiridas por el satélite de observación avanzada de la tierra "DAICHI" (ALOS).

El conjunto de datos se publica en base al conjunto de datos MDS (versión de pixel de 5 metros) de los "Datos Topográficos 3D del Mundo", que es la información de elevación a escala global más precisa en este momento y su precisión de elevación también está en un nivel mundial nivel como una versión de pixel de 30 metros. Este conjunto de datos se espera que sea útil para la investigación científica, la educación, así como el sector privado de servicios que utiliza la información geoespacial.

Registre su información de la siguiente URL para descargar el conjunto de datos. Se requiere su dirección de correo electrónico.

### Registrarse: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/registration.htm

Este es un registro temporal y le enviará un correo electrónico para que acepte su solicitud de registro. Después de la confirmación de su solicitud, la información de descarga se enviará por correo electrónico.



### Descargar: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm

## 7.1.4. Carta Nacional – Instituto Geográfico Nacional (IGN)

El IGN, ente rector de la cartografía nacional, planea, dirige, ejecuta y controla las actividades relacionadas con la geomántica, manteniendo actualizada la base de datos geoespaciales; en concordancia con la infraestructura de datos espaciales del Perú; a fin de mantener permanentemente actualizada la cartografía básica oficial del país; poniéndola a disposición de las entidades públicas y privadas que la requieran para los fines del desarrollo y la defensa nacional.

Son 501 cartas nacionales topográficas del Perú en escala 1:100 000 en formato shapefile que puedes descargar completamente gratis. Aplicativo Web que permite la descarga de cartografía base. Archivos en formato shape (\*.shp). Los archivos están comprimidos en \*.zip

La información por cada hoja consta de las siguientes coberturas: Hidrografía, Hipsografía.

Las hojas pueden descargarse por N° de Hoja según formato de la carta nacional, o agrupadas por departamento, provincia o distrito para facilitar un grupo de descargas, de la siguiente página se descarga:

### http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/



Figura 31.Página del Geoservidor de la Carta Nacional IGN.



## VIII. BIBLIOGRAFIA

- ABRAMS, M., HOOK, S., and RAMACHANDRAN, B., 1999, Aster user handbook, Version 2, NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, at <u>https://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03\_data/04\_Documents/aster\_user\_guide\_v2.pdf</u>
- ALEXANDER ARIZA, 2013. Descripción y corrección de productos LandSat 8 LDCM (<u>http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf</u>).
- ANDRÉS LEÓN, 2015. Descripción, descarga y manipulación de productos Sentinel-2 (<u>https://es.slideshare.net/AlejandroLeon31/guia-sentinel2-espaol</u>).
- calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote
- CHANDER, G. & MARKHAM, B. 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 41, 2674 - 2677
- CHANDER, G., MARKHAM, B. L., y HELDER, D. L. (2009). Summary of current radiometric
- CHUVIECO E, 1996. Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio.
- CHUVIECO SALINERO, E. 2008. Teledetección Ambiental. 2 ed. Barcelona, ES, Ariel. 592 p.
- Congedo Luca (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation.
   DOI: <u>http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1.</u>
- EASTMAN, R. 2003. IDRISI Kilimanjaro-Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes. Clark Labs. 312 p.
- JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Available at <u>http://www.jars1974.net/pdf/rsnote\_e.html</u>
- JIMENEZ-MUNOZ, J. C. & SOBRINO, J. A. 2010. A Single-Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval From ASTER Data IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 7, 176-179.
- MOHR, P. J.; NEWELL, D. B. & TAYLOR, B. N. 2015. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014 National Institute of Standards and Technology, Committee on Data for Science and Technology.
- NASA 2007.

- NASA (Ed.) 2011. Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt, 186 (<u>https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-</u> content/uploads/2016/08/Landsat7 Handbook.pdf)
- RICHARDS, J. A. y JIA, X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin, Germany: Springer.
- ROUSE, J. W., HAAS, R. W., SCHELL, J. A., DEERING, D. H. y HARÍAN, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancement andretrogadation (Greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt, MD. USA, NASA/GSFCT.
- Rouse, J; Haas, R; Schell, J; Deering, D; Harlan, J. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt. Maryland, US. NASA/GSFC. 87 p.
- Sensing of Environment, (5), 893–903. doi:10.1016/j.rse.2009.01.007
- SOBRINO, J. A., RAISSOUNI, N., & LI, Z. -L. (2001). A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. Remote Sensing of Environment, 75, 256 – 266.
- KEELEY, JE (2009). Intensidad del fuego, severidad del fuego y gravedad de la quemadura: Una breve revisión y uso sugerido. International Journal of Wildland Fire, 18 (1), 116 126.
- CHAO CHEN, QIMING QIN, LI CHEN, HONG ZHENG, WENZHE FA, ABDUWASIT GHULAM, y CHENGYE ZHANG. 2015, "Photometric correction and reflectance calculation for lunar images from the Chang'E-1 CCD stereo camera," J. Opt. Soc. Am. A 32, 2409-2422 (2015).

### **CURSOS EMPRESA GEOMATICA AMBIENTAL SRL**

https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/cursos-virtuales

GEOMATICA AMBIENTAL SRL Página principal · Tutoriales - · Manuales · Cursos virtuales · Fotos Capacitaciones · Registrarse · Contactos

