



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis de la deforestación en la región de la Selva  
Lacandona, mediante imágenes de percepción remota y  
software libre para la evaluación de riesgos**

**TESINA**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Geomático**

**P R E S E N T A**

José Armando Huesca Mora

**DIRECTOR DE TESINA**

M. en C. Amanda Oralia Gómez



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Ingresada 2017**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Señor  
JOSÉ ARMANDO HUESCA MORA  
Presente

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/018/17

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento que las actividades que usted propuso para que sean desarrolladas como tesina, conforme a la opción IX. "Titulación por servicio social" para obtener su título de INGENIERO GEOMÁTICO han sido aprobadas por este Comité.

**"ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN LA REGIÓN DE LA SELVA LACANDONA, MEDIANTE IMÁGENES DE PERCEPCIÓN REMOTA Y SOFTWARE LIBRE PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. SOFTWARE LIBRE
- III. MARCO DE REFERENCIA
- IV. TIPOS DE IMÁGENES SATELITALES Y DESCARGAS
- V. SELECCIÓN DE IMÁGENES APROPIADAS
- VI. TRATAMIENTO Y CORRECCIONES DE IMÁGENES
- VII. DATOS VECTORIALES
- VIII. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesina el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 15 de febrero del 2017.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RICÓN

GLR/MTH\*gar.

## Contenido

Introducción .....	4
Objetivo .....	4
Acciones y evaluación .....	4
I.    Antecedentes.....	4
Flora .....	4
Fauna .....	4
Área protegida.....	5
Problemas que enfrenta.....	5
II.   Software libre .....	5
Qgis .....	6
Especificaciones .....	6
Descarga e instalación.....	6
Instalación de Complementos .....	7
Complementos utilizados .....	9
III.  Marco de Referencia.....	9
IV.   Tipos de Imágenes Satelitales y Descargas .....	10
Landsat.....	10
Sitio de descarga.....	10
Especificaciones del sensor .....	10
Comparativa Landsat 7 y Landsat 8.....	11
Descarga de información.....	12
Sentinel-2.....	14
Sitio de descarga.....	14
Especificaciones del sensor .....	15
Comparativa Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel-2.....	16
Descarga de información.....	16
V.    Selección de imágenes apropiadas .....	18
VI.   Tratamiento y Correcciones de Imágenes.....	20
Pre-procesamiento .....	20
Calibración de números digitales a valores de radiancia y reflectancia .....	20
Corrección por Nubes .....	21

Cálculos de Índices .....	23
NDVI .....	23
NDSI .....	24
Metodología de detección de cambios .....	24
Reclasificación .....	26
VII. Datos vectoriales .....	27
Descarga de datos .....	27
INEGI .....	27
Procesamiento de Datos .....	29
Cambio de Proyección y Datum .....	29
Recorte de datos .....	30
Resultados .....	31
VIII. Conclusiones .....	36
Bibliografía .....	37

## Introducción

Este ejercicio desarrolla un análisis de deforestación en la región de la Selva Lacandona (México) empleando imágenes satelitales de libre distribución y software libre. Sobre las imágenes se ejerce la técnica de rotación radiométrica y se evalúa una diferencia de NDVI y NDSI entre las tomas. Los resultados determinan las zonas con ganancia y pérdida de vegetación y se representan en dos mapas temáticos. El desenlace de este tópico es la difusión a los pobladores de la región, generando un beneficio en la toma acciones preventivas o correctivas ante un inminente riesgo ecológico.

### Objetivo

Evidenciar el cambio de uso de suelo en la región de la Selva Lacandona producto de actividades económicas, por medio del procesamiento de imágenes satelitales, obteniendo la identificación de la zona arbolada afectada.

### Acciones y evaluación

Partiendo desde la segmentación de sensores, se realiza la selección de imágenes adecuadas para ser procesadas con el propósito de determinar las variaciones en el tipo de suelo, como lo son las pérdidas y ganancias de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y Normalized Difference Soil Index (NDSI) para la región de la Selva Lacandona. Finalmente, el análisis y los resultados reflejan las zonas donde existen los cambios en el paisaje y las zonas con mayor degradación vegetal.

## I. Antecedentes

### Flora

La selva es el lugar con mayor diversidad arbolada en la República Mexicana, se estima que en una hectárea de la Selva Lacandona afloran 267 especies de plantas incluyendo 160 clases de árboles; entre las especies representativas encontramos plantas como las orquídeas, las bromelias, los helechos arborescentes, y árboles como la caoba, el palo de rosa, la ceiba y el cedro.

### Fauna

Estudios demuestran la presencia de aproximadamente 70 especies de mamíferos, como el jaguar, el ocelote, el mono sarahuato y el mono araña; 306 especies de aves, como la guacamaya roja, el tucán real y el tucán de collar; una gran cantidad de reptiles, como la nauyaca, la boa constrictora y la coralillo; además de anfibios e insectos.

A su vez, si tienen identificados en peligro de extinción:

**Mamíferos:** el mono aullador, mono araña, nutria de río, jaguar, puma, ocelote, trigriño, yuagouarundi y el tapir.

**Aves:** guacamaya roja, águila arpía, quetzal, tucán de collar y el tucán real.

## Área protegida

De las 950 000 hectáreas aproximadamente que componen a la selva, se declaró como área natural protegida una porción de 330,000 hectáreas denominada la *Reserva de la Biosfera Montes Azules*. En esta región encontramos la mayor biodiversidad de la Selva Lacandona. Ahí se desarrollan proyectos de conservación de las especies prioritarias (guacamaya, tapir, mono saraguato y cocodrilo de pantano), y hay dos estaciones biológicas (Chajul y Tzendales) desde las que se estudia el estado de la selva.

## Problemas que enfrenta

### *Contaminación y deterioro del suelo*

El uso de agroquímicos y pesticidas, cambio en el uso del suelo, monocultivos, pérdida en la extinción de la selva por los incendios forestales y la tala inmoderada.

¿Cómo afecta la Contaminación del suelo?

Las especies pierden sus hogares y fuentes de alimento, como resultado las poblaciones disminuyen paulatinamente generando un desequilibrio en la cadena alimenticia, culminando en una alteración del ecosistema.

### *Contaminación y uso del agua*

La basura acarreada por los ríos proveniente de las poblaciones, arrojado de desechos industriales que desembocan en fuentes de agua y la filtración de químicos utilizados en la agricultura.

¿Cómo afecta la Contaminación del agua?

La disminución de fuentes de agua potable de la zona, extinción de especies acuáticas y por consecuencia, la pérdida de fuentes de alimentación para humanos y animales.

## II. Software libre

Se refiere a la libertad de expresión que cuenta el usuario y la comunidad como lo es ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y mejorar el aplicativo, no necesariamente a un precio relacionado por el licenciamiento. Todo software libre tiene que contar con los cuatro principios:

Libertad 0: ejecutar el programa a conveniencia;

Libertad 1: acceder y estudiar el código y el modo de trabajo del aplicativo;

Libertad 2: voluntad de redistribuir copias para el beneficio de otros usuarios;

Libertad 3: decisión de modificar versiones realizadas por otro usuario.

## Qgis

### Especificaciones

Qgis o Quantum GIS como anteriormente se le conocía es una herramienta de sistemas de información geográfica está disponible para la mayoría de las plataformas comerciales como son Windows, Linux, MacOS, entre otras. Es un proyecto original de OSGeo y en 2008 se lanzó la primera versión.

Esta herramienta permite manejar archivos ráster y vectoriales de una manera gráfica, incorpora el desarrollo de bibliotecas de GDAL que anteriormente solo estaban disponibles para GRASS; QGIS mejora el manejo de GRASS debido a que resultaba complejo para algunos usuarios su uso por ser una interfaz de programación no gráfica en lenguaje Python.

En la actualidad Qgis se encuentra en crecimiento debido a la demanda del mercado por aplicaciones relacionadas a sistemas de información geográfica de distribución libre.

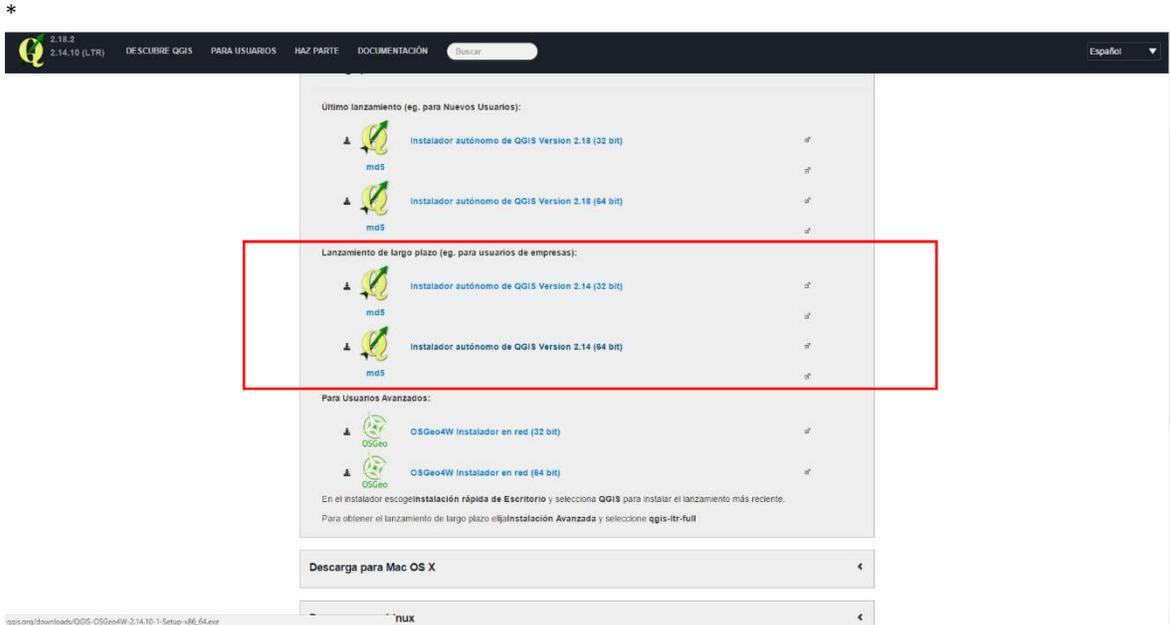
### Descarga e instalación

Dirección electrónica: <http://www.qgis.org/es/site/>



Figura 1. Página principal del sitio Qgis

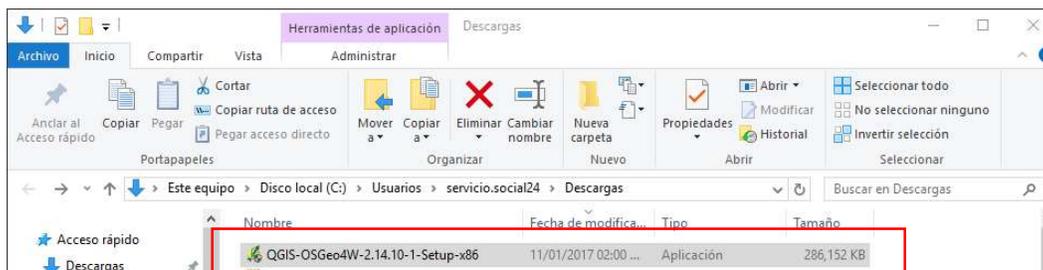
Al seleccionar la opción de “descargar ahora”, se despliegan las versiones que se encuentran disponibles del aplicativo, las cuales se encuentran listadas (Figura 2).



**Figura 2.** Página Qgis donde se despliegan todas las versiones disponibles, en rojo versiones a largo plazo

Existen lanzamientos periódicos de la plataforma, estos lanzamientos frecuentemente presentan bugs o errores por lo que se recomienda descargar la versión *Lanzamiento de largo plazo* o *versión estable*.

Al seleccionar la opción deseada de acuerdo con el sistema operativo que se trabaja, se descarga un "archivo ejecutable" el cual está programado para la descarga e instalación del aplicativo (figura 3).



**Figura 3.** Explorador de archivos en Windows 10, en rojo el archivo ejecutable de Qgis versión 2.14

Finalmente, ejecutando este archivo el sistema operativo procederá a la instalación del software.

### Instalación de Complementos

Asimismo, en cumplimiento a los principios establecidos en el software libre, Qgis engloba complementos desarrollados por terceras partes. Cada uno debe ser buscado, descargado e instalado individualmente; el proceso se realiza de la siguiente manera:

Ingresar al módulo Plugins -> **Manage & install plugins**

A continuación, desplegará una pantalla emergente (figura 5).

En la barra de búsqueda "search" se debe colocar el nombre del complemento

Indexado el nombre, el sistema arroja las coincidencias (1); para ser instalado se debe presionar sobre la instrucción "instalar" (2).

Instalados los complementos se alojan en la sección Plugins -> **Grass** (Figura 7)

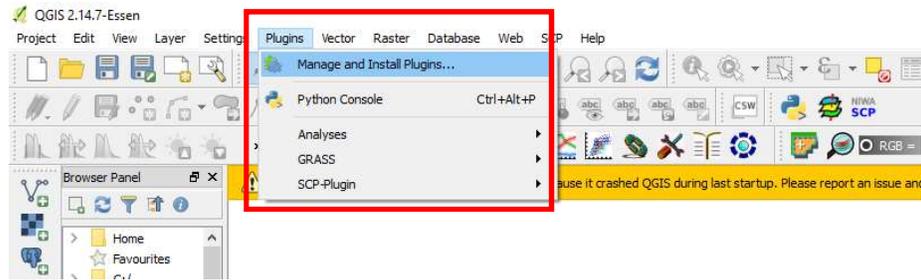


Figura 4. Pantalla de inicio Qgis, en rojo barra de herramientas de complementos.

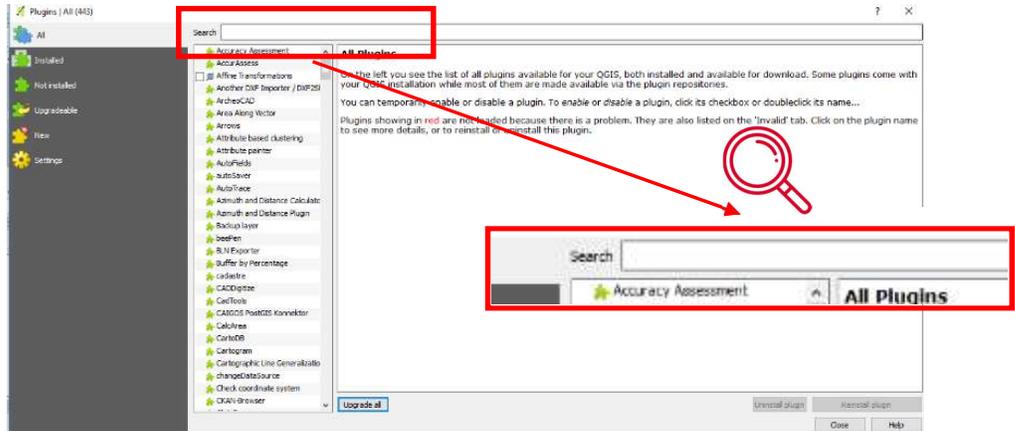


Figura 5. Pantalla emergente de complementos, en rojo barra de búsqueda.

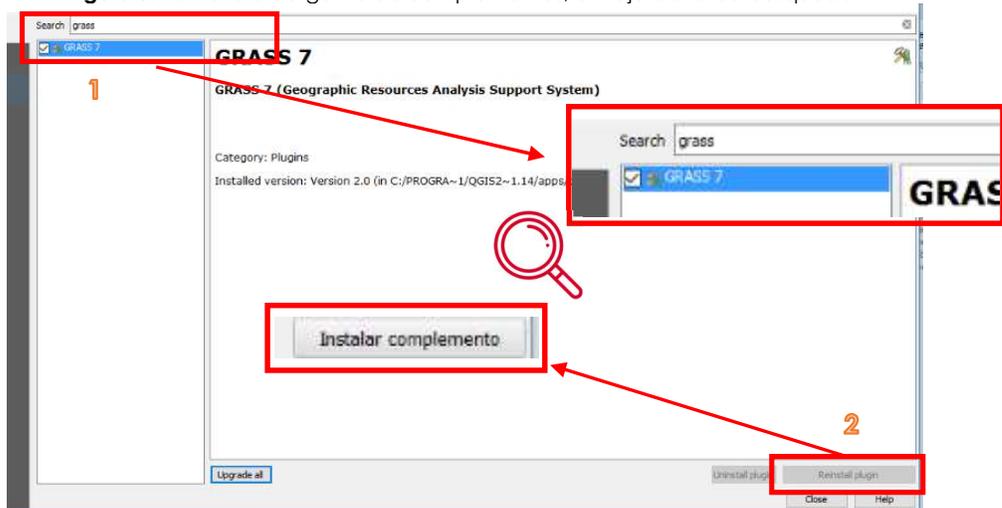


Figura 6. Pantalla emergente de complementos, en rojo barra de búsqueda escrita la frase "Grass" y botón de instalación

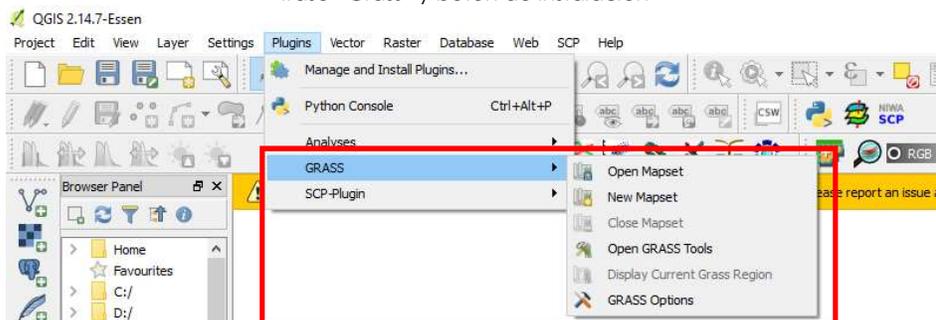


Figura 7. Pantalla de inicio Qgis, en rojo complementos instalados listos para su uso.

### Complementos utilizados

Para este ejercicio se instalaron los siguientes complementos:

- Grass
- Point sampling tool
- Semi-Automatic Classification Plugin
- TOA

### III. Marco de Referencia

El área de estudio es la región de la Selva Lacandona, la cual se localiza en los estados de Chiapas y Tabasco al sur de la República Mexicana; de acuerdo con la Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) tenemos los siguientes datos:

Coordenadas extremas: Latitud N: 16° 04' 12" a 17° 26' 24"

Longitud W: 90° 22' 48" a 92° 02' 24"

Entidades: Chiapas, Tabasco.

Municipios: Altamirano, La Independencia, Las Margaritas, Ocosingo, Palenque, Tenosique.

Localidades de referencia: Tenosique de Pino Suárez, Tabasco.; Palenque, Chiapas.; Río Chancalá, Chiapas.; San Juan Chancalaíto, Chiapas.



**Figura 8.** Imagen de los estados de Chiapas y Tabasco en rojo el perímetro conformado por las coordenadas extremas.

## IV. Tipos de Imágenes Satelitales y Descargas

### Landsat

Sitio de descarga

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Especificaciones del sensor

*Landsat 8*

Número de Banda	$\mu\text{m}$	Resolución
1	0.433–0.453	30 m
2	0.450–0.515	30 m
3	0.525–0.600	30 m
4	0.630–0.680	30 m
5	0.845–0.885	30 m
6	1.560–1.660	30 m
7	2.100–2.300	30 m
8	0.500–0.680	15 m
9	1.360–1.390	30 m
10	10.6–11.2	100 m
11	11.5–12.5	100 m

Fecha de lanzamiento: 11 – 02 – 2013

Ciclo Orbital: 16 días. 233 órbitas

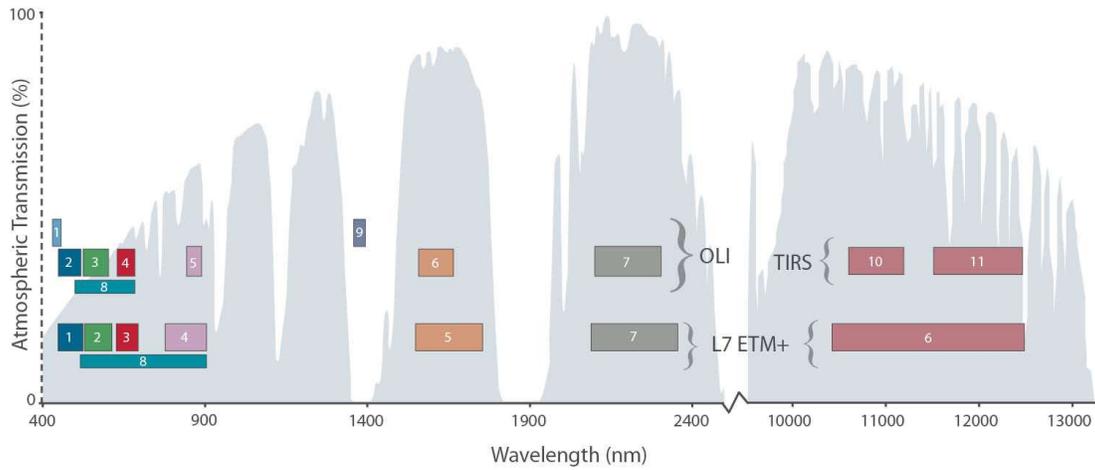
*Landsat 7*

Número de Banda	$\mu\text{m}$	Resolución
1	0.45 - 0.515	30 m
2	0.525 - 0.605	30 m
3	0.63 - 0.69	30 m
4	0.75 - 0.90	30 m
5	1.55 - 1.75	30 m
6	10.40 - 12.5	60 m
7	2.09 - 2.35	30 m
PAN	.52 - .90	15 m

Fecha de lanzamiento: 15 – 04 – 1999

Ciclo Orbital: 16 días. 233 órbitas

## Comparativa Landsat 7 y Landsat 8



**Figura 9.** Gráfica comparativa de las bandas en los sensores Landsat 7 y Landsat 8 de acuerdo con la longitud de onda en el espectro electromagnético.

Landsat-7 ETM+ Bands ( $\mu\text{m}$ )			Landsat-8 OLI and TIRS Bands ( $\mu\text{m}$ )		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

**Figura 10.** Tabla comparativa de las bandas en los sensores Landsat 7 y Landsat 8 de acuerdo con la longitud de onda en el espectro electromagnético.

## Descarga de información

Inicialmente, se debe seleccionar los criterios de búsqueda (figura 11), es necesario introducir la región y el periodo en el cual se desean los resultados.

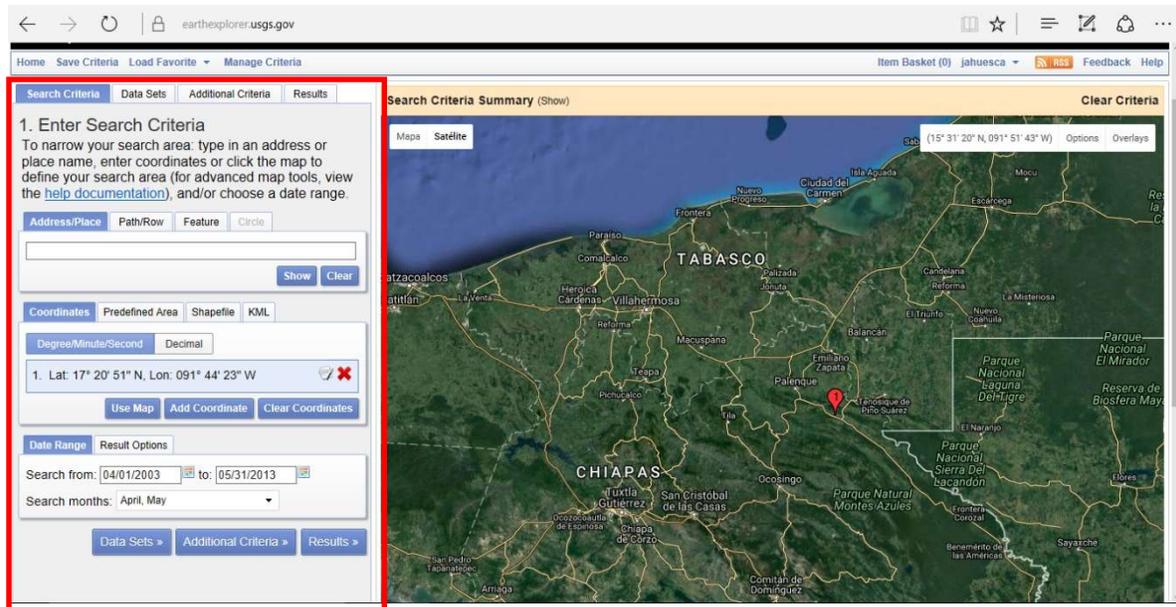


Figura 11. Página principal de "earthexplorer", en primera instancia se encuentran los criterios generales (lugar y tiempo).

A continuación, seleccionar archivos (Data Set), lo cual se refiere al tipo de sensor que se desea visualizar. En esta región se pueden seleccionar más de una opción (figura 12).

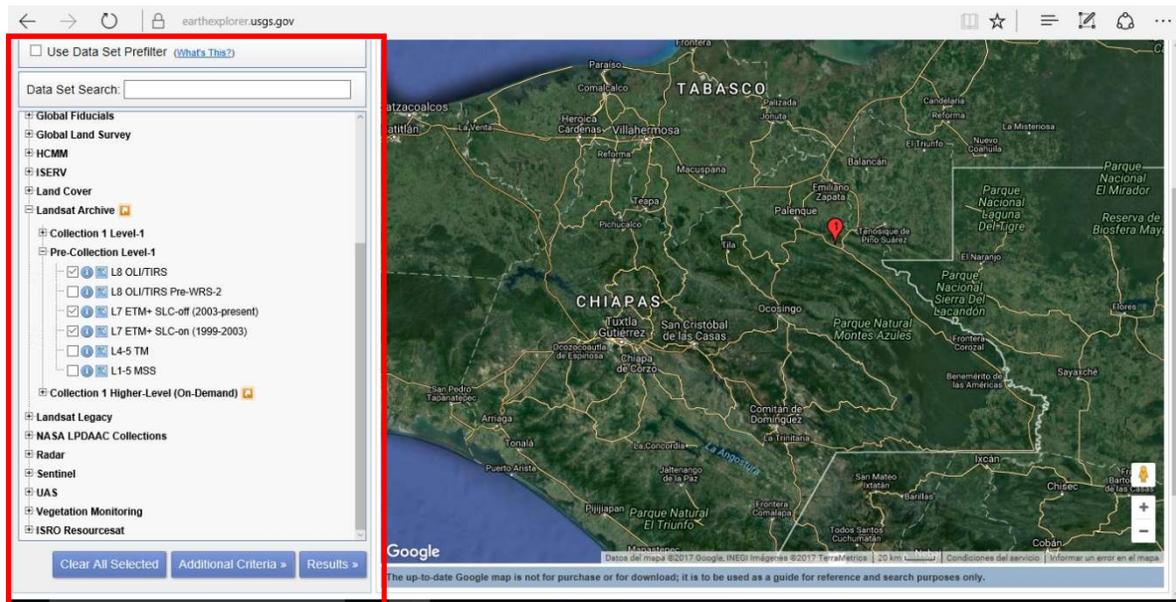


Figura 12. Página principal de "earthexplorer", Data Set Search selección de sensor para la búsqueda.

Adicionalmente, se puede agregar el nombre del archivo, la fila y columna, el ID del sensor, la cobertura de nubes, el ángulo de toma entre otros (figura 13).

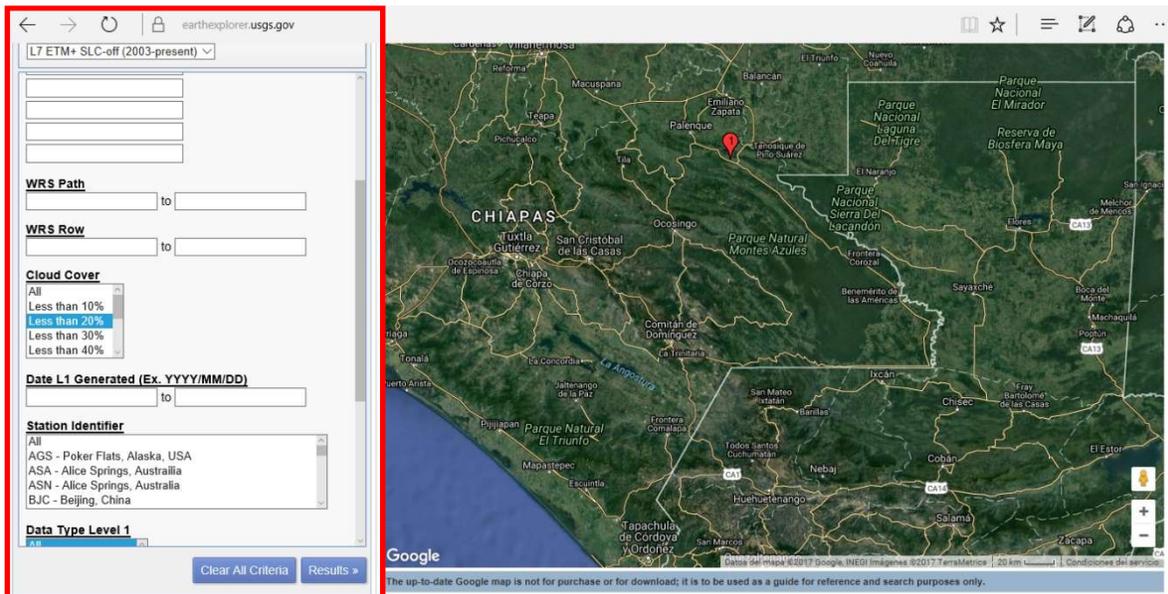


Figura 13. Página principal de "earthexplorer", Otros Criterios selección de búsqueda avanzada.

Finalmente, el buscador despliega los resultados de acuerdo con los criterios seleccionados. Se puede apreciar una vista previa de la escena sobre el área de cobertura.

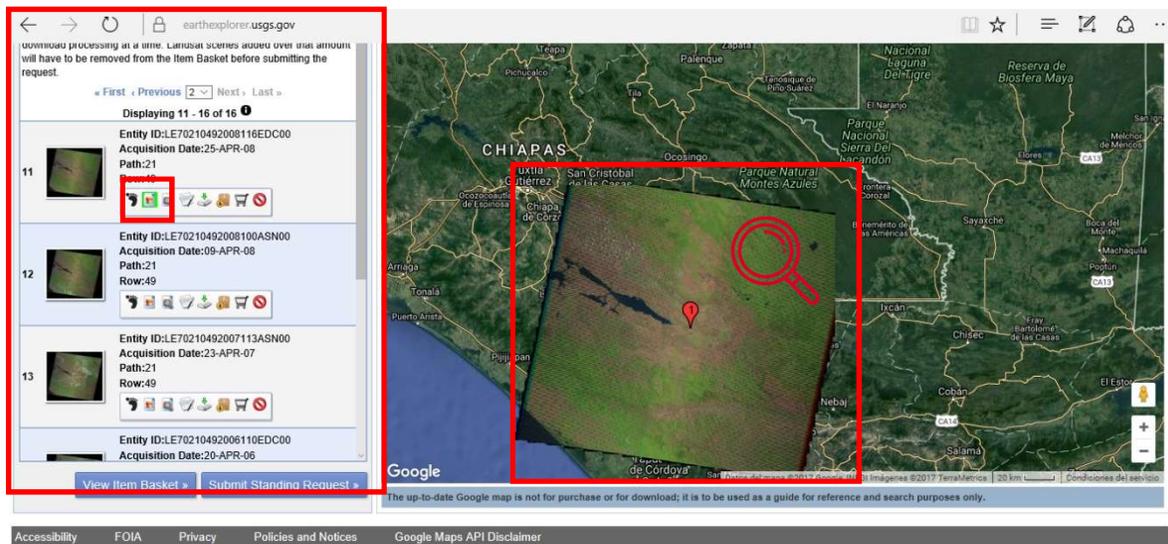


Figura 14. Página principal de "earthexplorer", Resultados y vista previa en rojo vista previa de la escena del 25/04/08.

Culminando el proceso, se debe presionar sobre el icono de descarga, continuamente este despliega una ventana emergente listando las versiones disponibles. Sobre la ventana emergente se selecciona Level 1 o Nivel 1 que corresponden a imágenes multiespectrales (figura 15).

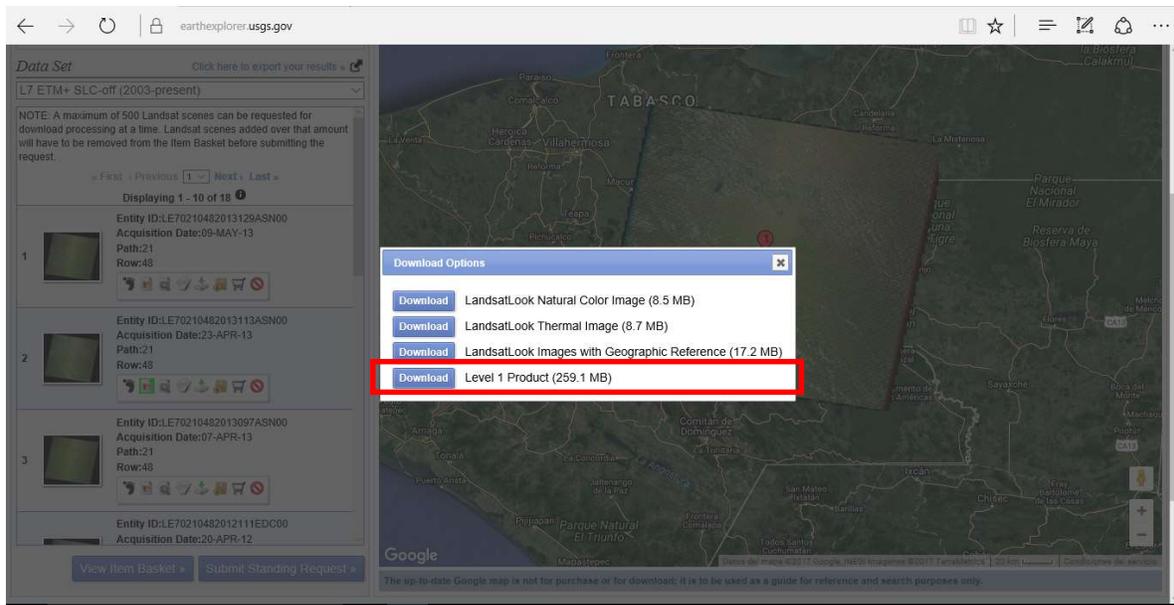


Figura 15. Página principal de "earthexplorer", listado de versiones en rojo versión Level 1 (multiespectral).

Descargadas las imágenes, se alojan en la carpeta del explorador, dentro de un archivo comprimido, para su trabajo es necesario realizar un proceso de descompresión.

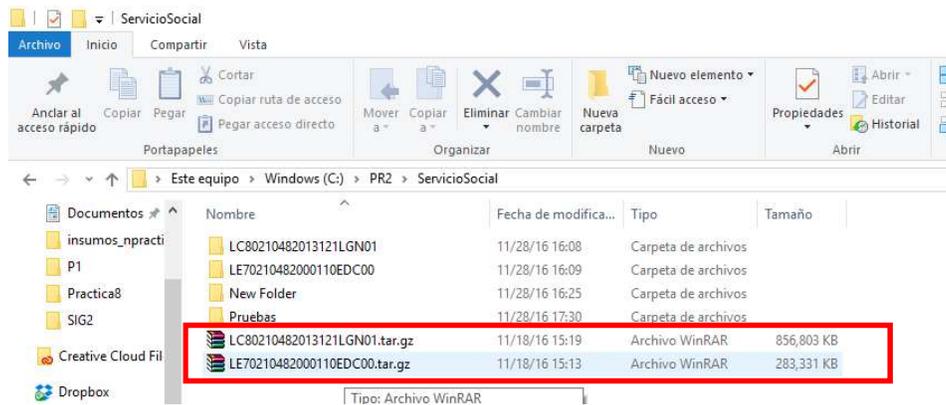


Figura 16. Explorador de archivos en Windows 10, en rojo el archivo comprimido Landsat 8 y Landsat 7.

## Sentinel-2

Sitio de descarga

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

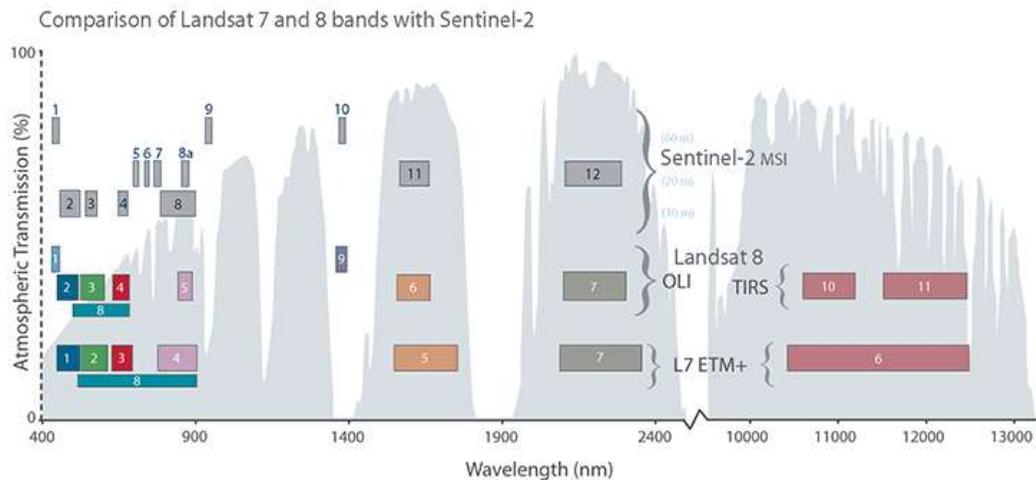
## Especificaciones del sensor

Resolución Espacial (m)	Número de Banda	Longitud de onda Central (nm)	Ancho de banda (nm)
<b>10</b>	Banda 2 - Blue	490	65
	Banda 3 - Green	560	35
	Banda 4 - Red	665	30
	Banda 8 - NIR	842	115
<b>20</b>	Banda 5 - Vegetation Red Edge	705	15
	Banda 6 - Vegetation Red Edge	740	15
	Banda 7 - Vegetation Red Edge	783	20
	Banda 8A - Vegetation Red Edge	865	20
	Banda 11 - SWIR	1 610	90
	Banda 12 - SWIR	2 190	180
<b>60</b>	Banda 1 - Coastal aerosol	443	20
	Banda 9 - Water vapour	945	20
	Banda 10 - SWIR - Cirrus	1 380	30

Fecha de lanzamiento: 23 – 06 – 2015

Ciclo Orbital: 10 días (1 satélite), 5 días (2 satélites)

## Comparativa Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel-2



**Figura 17.** Gráfica comparativa de las bandas en los sensores Landsat 7, Landsat 8 y Sentinel 2 de acuerdo con la longitud de onda en el espectro electromagnético.

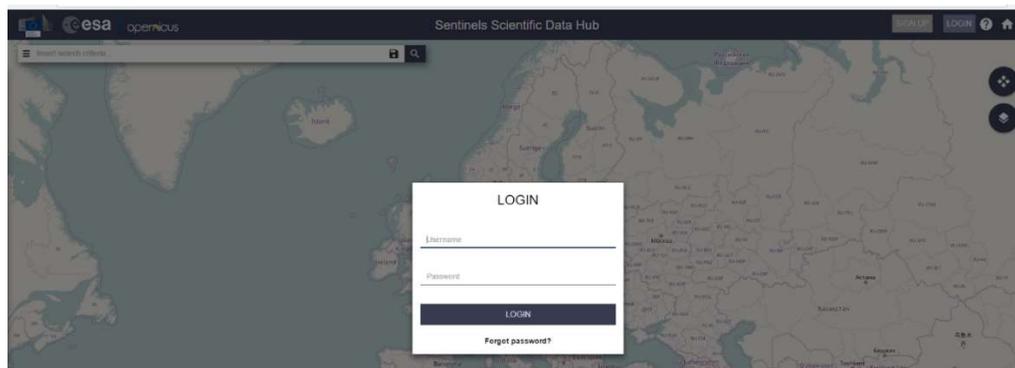
	Landsat	Sentinel-2	
Number in series	7+1*	starting with 2	
Launch	1972 to 1999*	S2-A launch end 2013	
Measurement principle	scanner	pushbroom	
Earth coverage	16	5	days
Swath	185	290	km
Multispectral bands	7(8*)	13	
Spatial sampling distance	30, 60	10, 20, 60	m

\* LCDM mission targeted early 2013

**Figura 18.** Comparativa entre la familia Landsat y Sentinel (número de series, lanzamientos, principio de medición, cobertura, ancho de toma, bandas, resolución).

## Descarga de información

Ir al sitio web de la Agencia Espacial Europea (ESA) e iniciar sesión.



**Figura 19.** Página de inicio de sesión ESA

A continuación, se debe seleccionar la región en el mapa donde se desea implementar la búsqueda de imágenes. También, se puede escribir el sitio en el navegador y presionar sobre el símbolo de la lupa (figura 19).

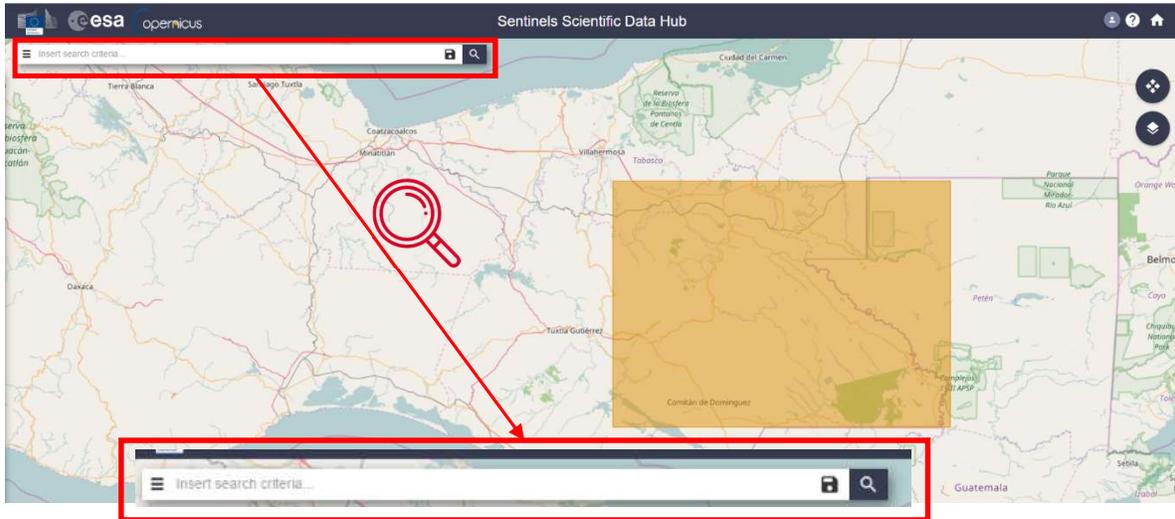


Figura 19. Página ESA, en rojo área seleccionada para la región de la Selva Lacandona

El motor de búsqueda despliega todas las imágenes disponibles de la zona. Para ver los atributos de cada una, es necesario sobreponer el puntero sobre la imagen deseada.

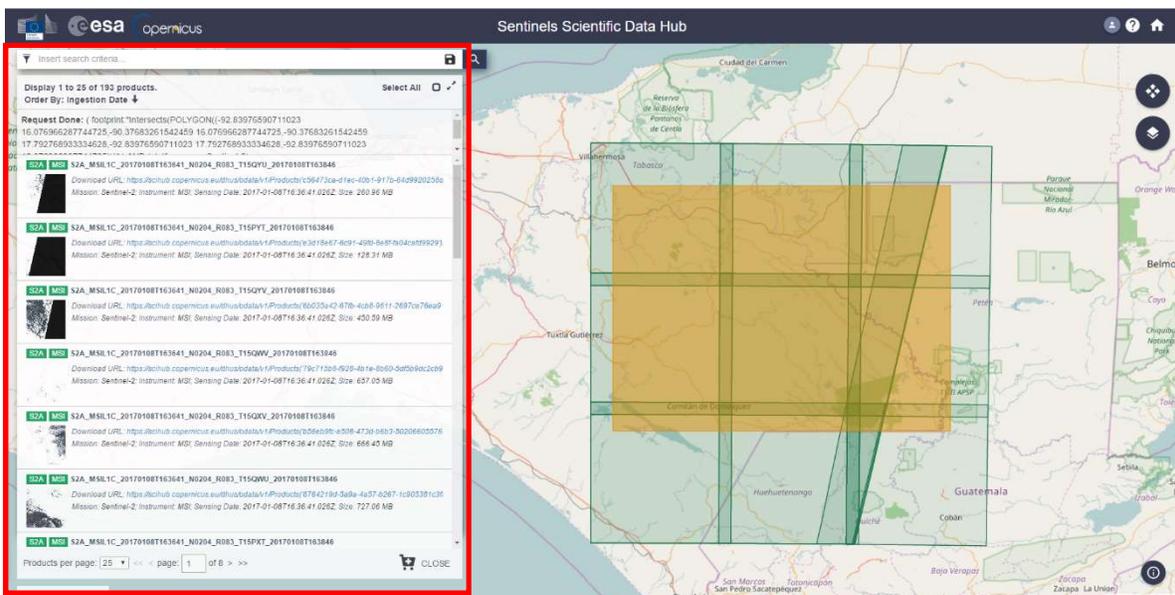


Figura 20. Página ESA, en rojo listado de imágenes disponibles de la región de la Selva Lacandona

Finalmente, al seleccionar la imagen deseada, se despliega una ventana emergente, en la cual se validan los atributos de la escena como es el área de cobertura y una vista previa, en el caso de que sean favorables a nuestro estudio se procede a la descarga.

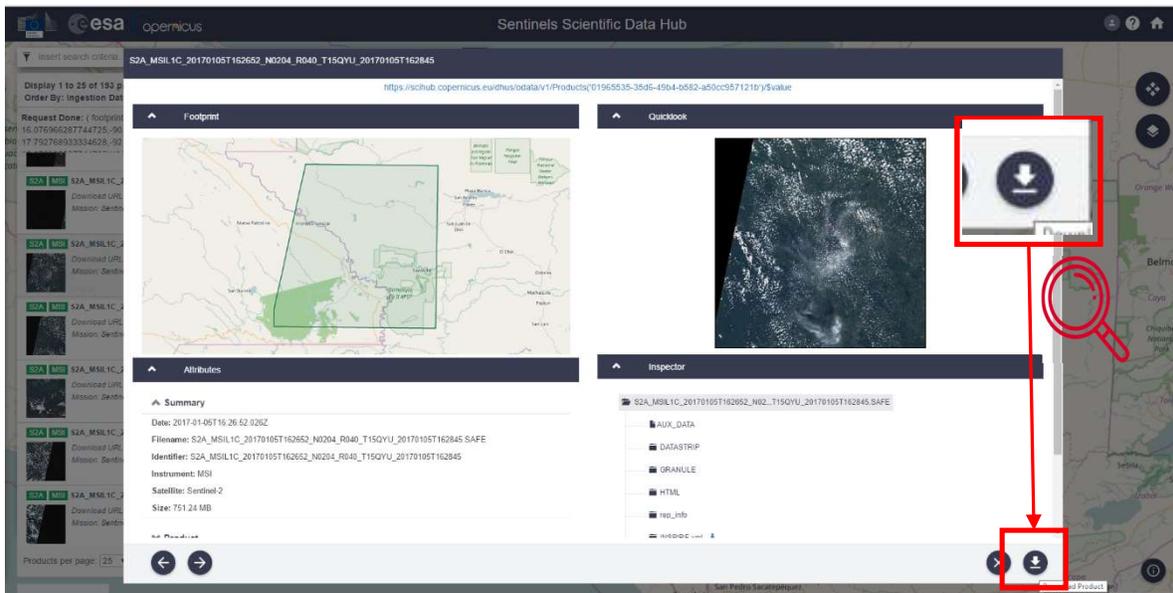


Figura 21. Ventana emergente propiedades de la imagen seleccionada, en rojo botón de descarga.

## V. Selección de imágenes apropiadas

La selección de imágenes para este ejercicio se lleva a cabo por medio de discriminar patrones que interfieran con el contenido de información que se desea extraer. La escena debe tener una cobertura de toda la región de la selva.

Para las imágenes Landsat 7 y 8 se tiene que la región de estudio está en el path y row (fila y columna) [021,048] y [021,049] y para las imágenes de Sentinel-2 se encuentra en la órbita R083. De los 3 sensores se buscan imágenes que se encuentren dentro del periodo de tiempo determinado que es de 2000 a 2013 y que no contengan más del 30 % de nubes en la escena, teniendo en cuenta que es una zona selvática y que la presencia de nubes es habitual en estas tomas.

Habiendo prestado mucha atención a las imágenes, se descartan las imágenes Landsat 7 entre los años 2003 a 2017 debido a la falla que existe en el mecanismo Scan Line Corrector (SLC) y que provoca la falta de información en las tomas de aproximadamente 22% y para este ejercicio sería necesaria una interpolación de datos; así mismo, se descartan las imágenes Sentinel-2 porque no existen tomas claras sin nubes de la región, producto de su reciente lanzamiento por lo cual el acervo de imágenes no es amplio.

Dicho y definido los parámetros, se establece que los meses de abril y mayo son los idóneos para trabajar debido al bajo porcentaje de nubes en la escena.

Con el objeto de evidenciar lo anterior, a continuación, se muestran ejemplos de imágenes satisfactorias y no satisfactorias;

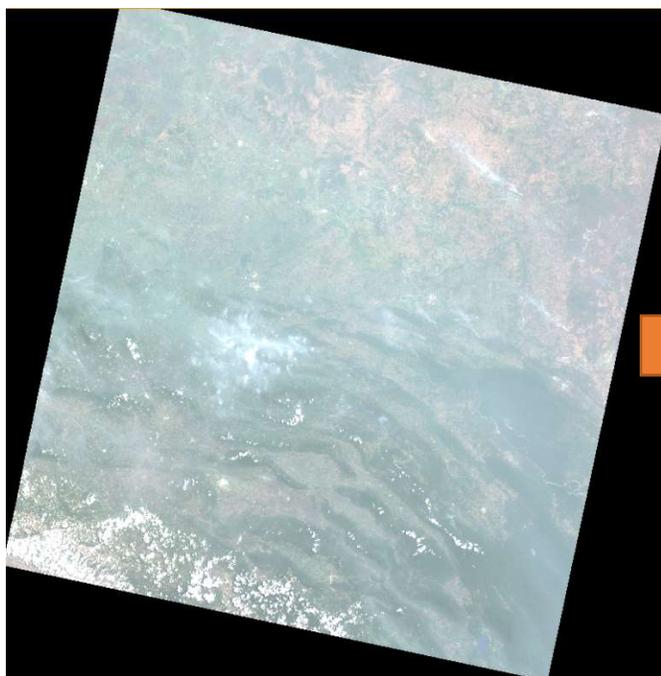


Imagen descartada, debido al alto porcentaje de nubosidad.



Figura 22. Imagen Landsat 8 [09/05/2016] P&R[21/48]

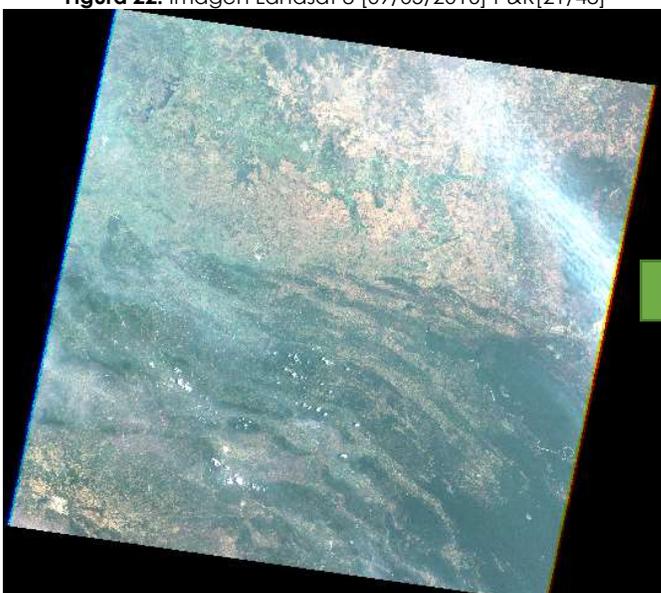


Imagen aprobada, aunque presenta nubosidad, no afecta el área de estudio.



Figura 23. Imagen Landsat 7 [19/04/2000] P&R [21/48]

Finalmente, en cumplimiento con los parámetros, se seleccionaron cuatro archivos para realizar el estudio:

1. **LE70210482000110EDC00**
2. **LE70210492000110EDC00**
3. **LC80210482013121LGN01**
4. **LC80210492013121LGN01**

Estas imágenes son 2 escenas de Landsat 7 con fecha de 19 de abril de 2000 y 2 escenas de Landsat 8 con fecha de 01 de mayo de 2013; ambas cumplen con los parámetros deseados para el análisis de deforestación.

## VI. Tratamiento y Correcciones de Imágenes

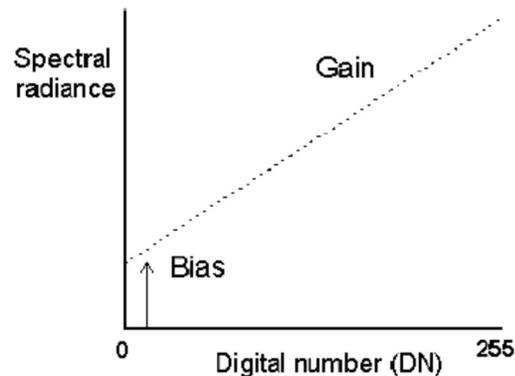
### Pre-procesamiento

#### Calibración de números digitales a valores de radiancia y reflectancia

Los pixeles de las imágenes satelitales se encuentran en un rango denominado niveles digitales (DN), que son valores determinados por la cantidad de información que puede almacenar, estos son de 8, 16, 32, ... bits dependiendo del tipo de sensor y contendrán valores en una escala de [0,255], [0, 65 535], [0, 4 294 967 295], y así continuamente.

También conocido como modelo simplificado se emplea para reducir la variabilidad entre escenas y consiste en la transformación de estos DN a valores de radiancia para después obtener valores de reflectancia teniendo en cuenta los parámetros como lo son fecha de toma, ángulo zenital y distancia entre el Sol y la Tierra.

La primera parte de la calibración consiste en transformar estos niveles digitales a valores de radiancia, para esto cada sensor tiene información sobre su Gain (pendiente) y Bias (ordenada) dependiendo de la banda. Utilizando la siguiente fórmula:



$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) \times (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_{\lambda}$$

$L_{\lambda}$  = TOA spectral radiance ( $W / (m^2 sr \mu m)$ )

$LMAX_{\lambda}$  = Spectral at-sensor radiance that is scaled to  $Q_{calmax}$  ( $W / (m^2 sr \mu m)$ )

$LMIN_{\lambda}$  = Spectral at-sensor radiance that is scaled to  $Q_{calmin}$  ( $W / (m^2 sr \mu m)$ )

$Q_{cal}$  = Quantized and calibrated standard product pixel values (DN)

$Q_{calmax}$  = Maximum quantized and calibrated pixel value corresponding to  $LMAX_{\lambda}$  (DN)

$Q_{calmin}$  = Minimum quantized and calibrated pixel value corresponding to  $LMIN_{\lambda}$  (DN)

Después, es necesario transformar estos valores a reflectancia planetaria o albedo, esta es la relación entre el flujo incidente y el reflejado. Estos valores no cuentan con unidades; se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\rho_{\lambda} = \left( \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \right)$$

$\rho_{\lambda}$  = reflectancia planetaria

$L_{\lambda}$  = Radiancia espectral medida por el sensor

$d$  = Distancia del Sol a la Tierra en unidades astronómicas, interpolada a partir del día juliano de la toma de fecha de la escena

$ESUN_{\lambda}$  = Promedio de irradiancia solar exoatmosférica para el sensor

$\theta_s$  = Angulo de elevación solar

Esta transformación únicamente unifica las diferencias de calibración en las bandas de la imagen y cambia la escala de medición de un parámetro biofísico. No se corrigen efectos atmosféricos o por efecto de adyacencia de cubiertas cercanas.

### Corrección por Nubes

Las nubes altas, delgadas o gruesas son difíciles de identificar en imágenes satelitales. Las nubes y la sombra que crean interfieren en los valores de medición, por lo que Landsat 8 OLI creó una banda que ayuda a identificar estos objetos utilizando la información espectral donde las nubes tienen una mayor respuesta.

El método de detección de nubes cirrus para Landsat 8 OLI se encuentra definido por el siguiente criterio utilizando únicamente la banda 9:

$$OLI_9 \geq 5245 \text{ ó } \rho_{TOA} \geq 0.00568$$

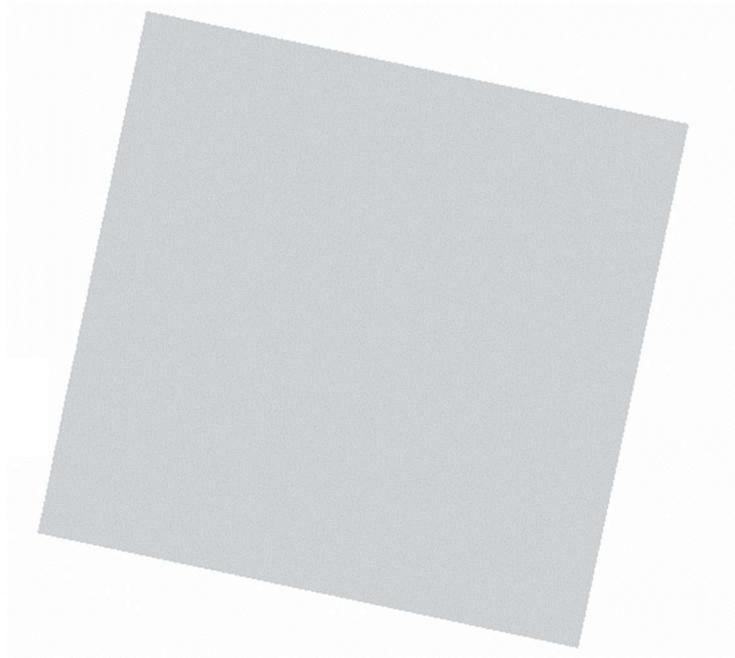


Figura 24. Imagen Landsat 8 de Nubes Cirrus OLI<sub>9</sub>

Para localizar las nubes comunes (distintas a nubes cirrus) se utilizan las bandas 2 y 4. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$OLI_c = 0.846 \times OLI_2 - 0.46 \times OLI_4$$

$$OLI_c \geq 2458$$



**Figura 24.** Imagen Landsat 8 afectada por nubes  $OLI_c$

Para realizar la corrección por nubes, se utiliza la siguiente ecuación. De acuerdo con la gráfica existe una relación lineal entre los valores de niveles digitales DN y los valores que le corresponden al  $OLI_c$  (OLI cloud).

$$OLI_{decloud} = \begin{bmatrix} OLI_2 \\ OLI_3 \\ OLI_4 \\ OLI_5 \\ OLI_6 \\ OLI_7 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1.88 \\ 0.89 \\ 1.02 \\ 0.85 \\ 1.40 \\ 0.71 \end{bmatrix} \times OLI_{cloud}$$

$OLI_{cloud}$  es el resultado de la ecuación de  $OLI_c$  y  $OLI_n$  es el número de banda que se está trabajando del sensor.

El resultado es una imagen clara donde las nubes se reducen considerablemente, lo apreciamos en las siguientes imágenes (figura 25/26):

**Figura 25.** En color verdadero (RGB) sin corrección



**Figura 26.** En color verdadero (RGB) corregida



## Cálculos de Índices

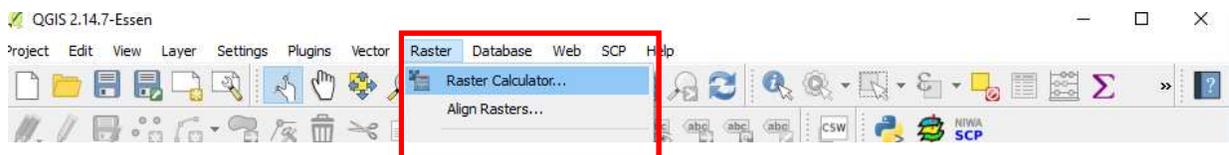
### NDVI

Este índice es calculado de acuerdo con la diferencia entre la banda del infrarrojo cercano y el rojo; es un índice de vegetación y al ser normalizado los valores que arroja se encuentran entre [-1,1]; valores como rocas y construcciones tienen valores por debajo de 0.1, la vegetación arbustiva aproximadamente tiene valores de [0.2, 0.5] y la vegetación densa contará con valores superiores a 0.6

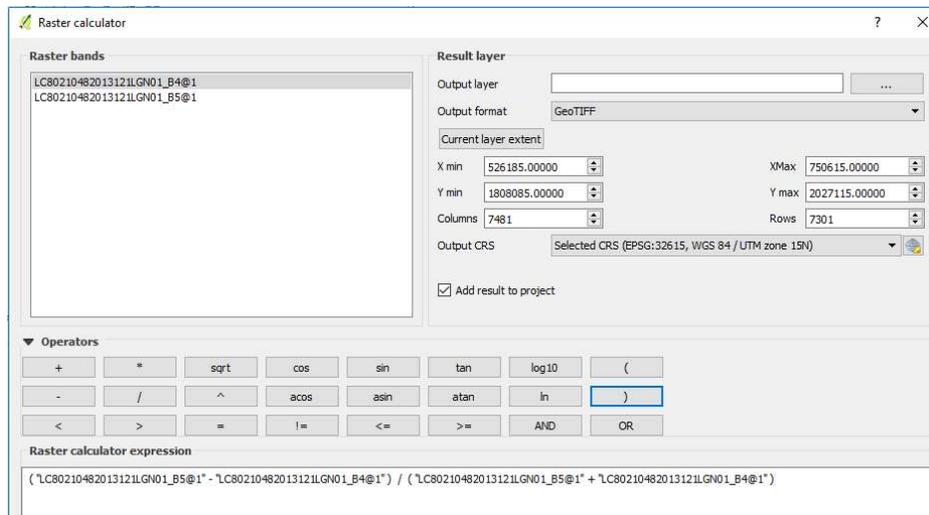
La fórmula para calcular estos valores es:

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

La manera para generar estas operaciones es utilizando la calculadora raster que se encuentra en Qgis -> Raster -> Raster Calculator.



**Figura 27.** Barra de herramientas Qgis, en rojo se despliega el inciso de calculadora raster



**Figura 28.** Ventana de calculadora ráster en Qgis, en este ejemplo para Landsat 8 se utilizan las bandas 4 y 5

## NDSI

Es un índice normalizado para identificar suelos, dentro de estos la mayoría de las veces se encuentran campos de cultivo y suelos desnudos. Para este análisis, se decide comprobar los resultados de NDVI contra resultados de NDSI. Esto indicaría que zonas tienen cambios en el uso de suelo relacionado con la ganancia o pérdida de vegetación reflejada. La fórmula para el cálculo NDSI es:

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

El método para el cálculo se lleva a cabo con la calculadora ráster utilizando las bandas adecuadas de acuerdo con el sensor utilizado siguiendo los pasos expresados (figuras 27 y 28).

## Metodología de detección de cambios

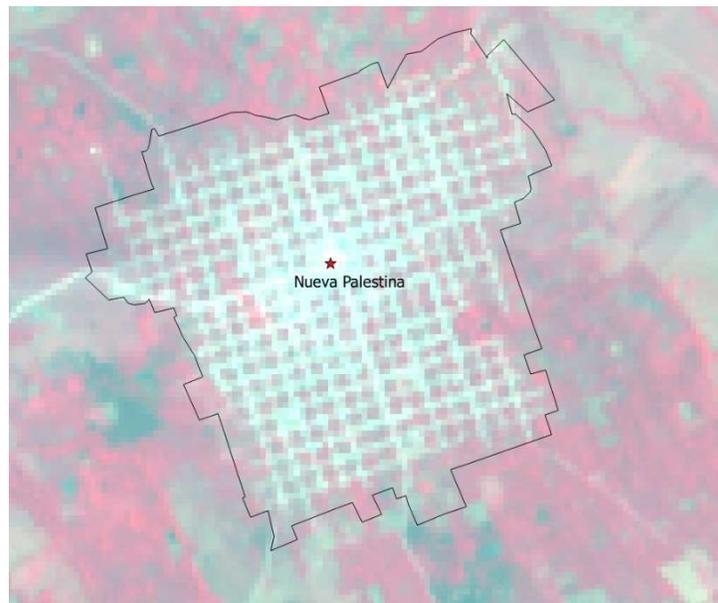
La técnica utilizada en este ejercicio es la rotación controlada por un eje de no cambio. Lo cual consiste en afirmar que los puntos de valores en la imagen, se consideran puntos en un espacio cartesiano de ejes ortogonales; la variación entre los efectos del cambio de posición entre las imágenes puede ser:

- Cambios en las condiciones atmosféricas al momento de la toma de la escena lo cual afecta a todos los puntos de manera homogénea.
- Cambios en la humedad y tipo de cobertura del suelo que afectarían la dispersión en algunas zonas determinadas.
- Diferencias entre sensores y procesos de calibración entre estos (Landsat 7 y 8).

La técnica produce una transformación lineal que genera una rotación de los ejes ortogonales del espacio, estos corresponden a los valores radiométricos en las escenas. En este caso, los valores se encuentran normalizados debido al uso de NDVI y NDSI.

La rotación se aplica con relación a la pendiente formada por el eje de no cambio, el eje representa los puntos de control que se tienen en campo; debido al método de levantamiento de estos puntos de control, el error puede incrementarse o disminuir. En este

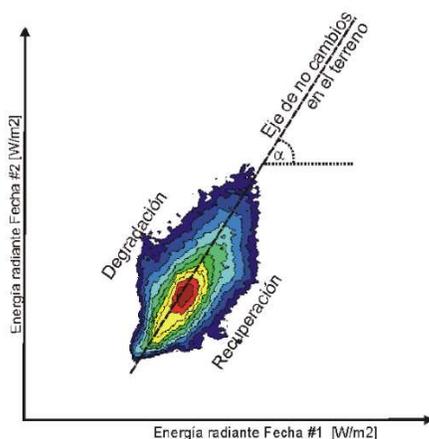
estudio, se colocaron puntos sobre el primer cuadrante de las ciudades principales y sobre cuerpos de agua. El resultado de los índices calculados no se verá afectado, debido a la poca respuesta espectral que tienen estos cuerpos dentro de las bandas involucradas.



**Figura 29.** Imagen LS8 Bandas (5.4.3) se aprecia el poblado de Nueva Palestina y un punto de control en el centro.

El eje describe la relación directa de los pixeles de no cambio entre las imágenes de los años 2000 y 2013. El ángulo de rotación (alpha) está definido como el arco tangente de la pendiente de la recta formada por los valores de no cambio; con base en el método paramétrico, el cual es un modelo lineal para la resolución de observaciones e incógnitas.

Los valores de las escenas NDVI de los dos años se extraen utilizando la herramienta "point sampling tool" un plugin de Qgis. Con estos valores se realiza el cálculo de la pendiente.



**Figura 30.** Gráfica de evaluación de degradación/ganancia y las ecuaciones que generan el modelo.

Ecuación de la recta de regresión de no cambio

$$FECHA_2 = m \cdot FECHA_1 + O_i \quad (1)$$

$$\alpha = \arctg(m) \quad (2)$$

Calculo de la Imagen detección

$$I_{DET} = - FECHA_1 \cdot \text{sen } \alpha + FECHA_2 \cdot \text{cos } \alpha \quad (3)$$

$FECHA_1$  : NDVI / NDSI primera fecha  
 $FECHA_2$  : NDVI / NDSI segunda fecha

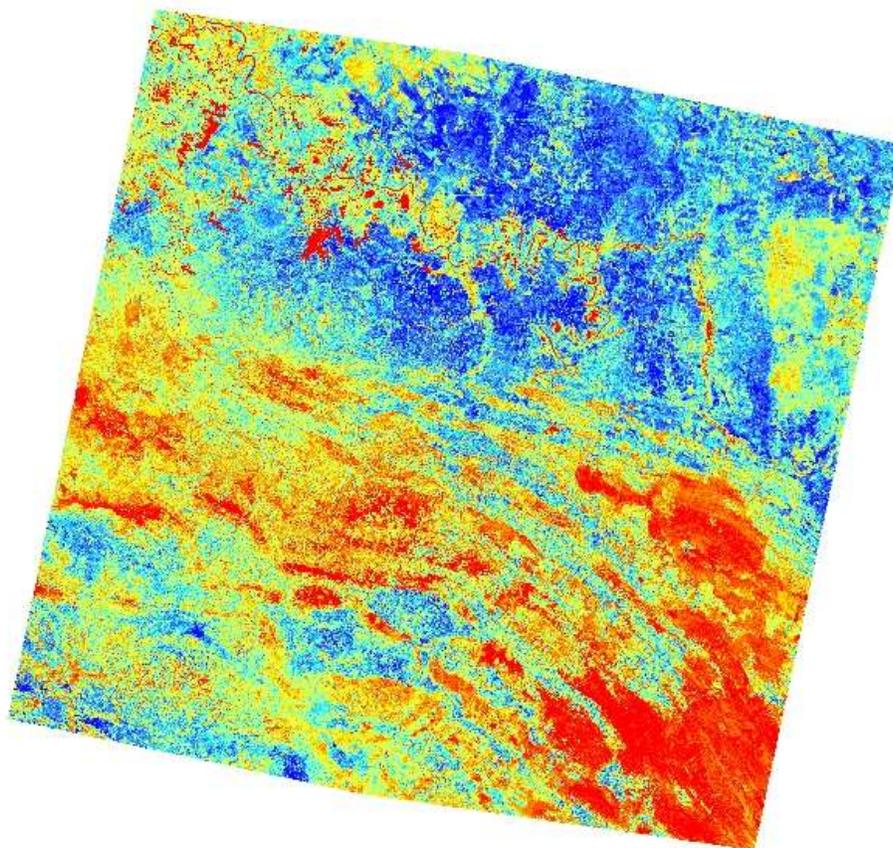
$m$  : pendiente de la recta de regresión

$O_i$  : ordenada al origen de coordenadas

$\alpha$  : ángulo de rotación

$I_{DET}$  : Imagen detección de cambios

Una vez calculada la pendiente y la ordenada al origen, se realiza la normalización de las dos imágenes para que se encuentren en el mismo sistema lineal. Finalmente, se aplica la ecuación 3  $I_{det}$  (figura 30) para el cálculo de degradación y recuperación entre las tomas.



**Figura 31.** Imagen P/R (021/048)  $I_{det}$  con valores [0.428048, -0.910851]

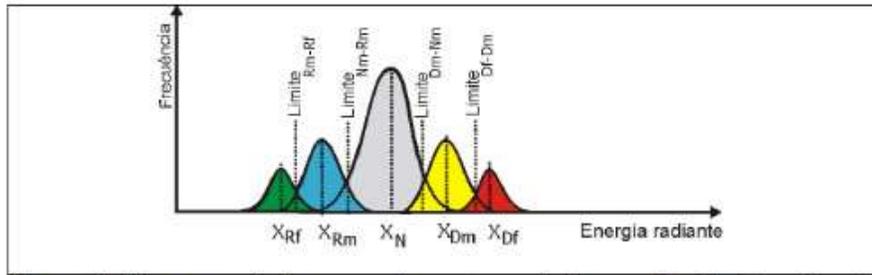
Como resultado se genera una nueva imagen  $I_{det}$ , la cual representa una detección de cambios; para el sustento del ejercicio, expresa las diferencias radiométricas en la vegetación de la zona de estudio, de acuerdo con el nivel de los valores es el tipo de cambio que existen en la zona.

### Reclasificación

Para este proyecto se clasificaron los cambios de la escena en 5 tipos:

1. Recuperación media
2. Recuperación fuerte
3. No cambio
4. Degradación media
5. Degradación fuerte

La reclasificación se realiza utilizando el plugin de GRASS, este complemento cuenta herramientas que permiten realizar diferentes tareas entre ellas reclasificar un archivo ráster de acuerdo con los parámetros introducidos.



- Histogramas de los grupos de muestras en la imagen de detección.  $X_{RF}$ ,  $X_{RM}$ ,  $X_N$ ,  $X_{DM}$ ,  $X_{DF}$ : media de la energía radiante de los grupos de muestras de recuperación fuerte, recuperación media, no cambio, degradación media y degradación fuerte respectivamente.

Como lo muestra la gráfica, los resultados de la imagen se realizan utilizando una distribución normal para definir los rangos. La región de no cambio (gris), la determina los nuevos valores de los puntos de control que se extraen de la escena  $I_{DET}$  de acuerdo con el valor máximo y mínimo. Las regiones de recuperación fuerte, recuperación media, degradación media y degradación fuerte son la diferencia entre la región de no cambio y el valor del borde de la escena  $I_{DET}$  dividido entre dos.

## VII. Datos vectoriales

Al igual que los archivos ráster generados, se necesita información vectorial para la creación de un mapa, ya que esta proporciona datos complementarios que son de suma importancia. Esta información para la República Mexicana se encuentra en muchos sitios web que son dependencias del gobierno federal.

En esta ocasión los archivos que se requieren son límites estatales, límites municipales y localidades urbanas.

### Descarga de datos

INEGI

Sitio web: <http://www.inegi.org.mx/default.aspx>

Los datos se encuentran en Geografía -> Temas -> Cartografía Urbana



Figura 32. Página Principal de INEGI, en rojo se despliega la ruta para de acceso a Cartografía urbana



Figura 33. Imagen Marco Geoestadístico donde se encuentran los archivos vectoriales

CONABIO

Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

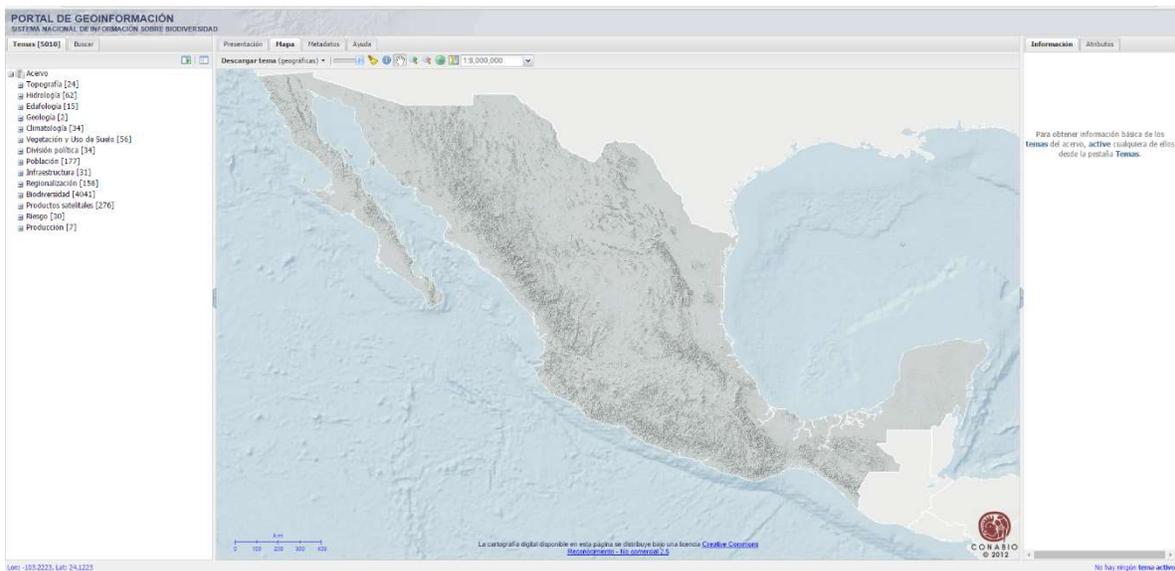


Figura 34. Página principal CONABIO SIG

Para descargar información de este portal solo es necesario ir a la sección que se pretende dentro del árbol desplegado.

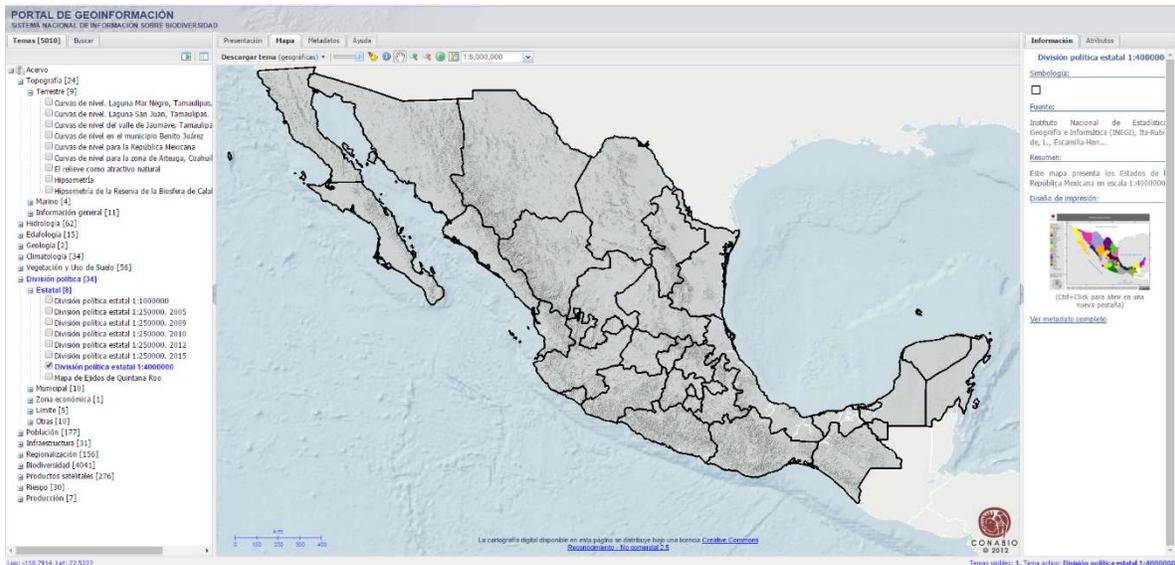


Figura 35. Página principal CONABIO, se despliega el árbol para información de división política estatal

## Procesamiento de Datos

### Cambio de Proyección y Datum

Los archivos descargados de portales de instituciones gubernamentales nacionales están en el Datum oficial de México el cual es ITRF92 – 2010 y de es posible que se encuentren en distintas proyecciones. Teniendo en cuenta lo anterior, para que el software pueda trabajar de manera ideal, se necesita que toda la información se encuentre en la misma proyección y datum; las imágenes descargadas Landsat se encuentran en la proyección UTM Z15 y datum WGS84 por lo que es necesario transformar los archivos provenientes del INEGI a este datum y proyección debido a la conveniencia de trabajar en unidades métricas y que es la unidad de la proyección UTM.

Para realizar esta operación en Qgis es necesario visualizar el menú de opciones en la capa y seccionar *guardar como*. se desplegará un cuadro y es necesario cambiar la opción de CRS.

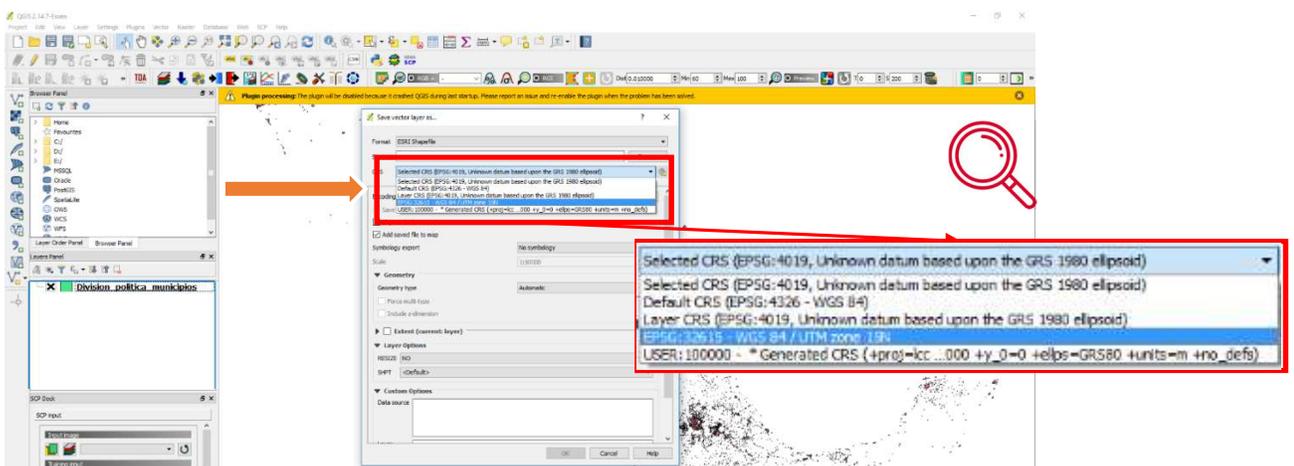


Figura 36. Pantalla de inicio Qgis, en rojo menú de "Guardar Como" desplegado

## Recorte de datos

Para filtrar solo la información del área de estudio se tiene que realizar un recorte de datos vectoriales. Esto para eliminar datos dentro de los shapes que no son útiles para el estudio. Para esta acción se utiliza la herramienta de Clip la cual se encuentra en Vector -> Geoprocessing Tools

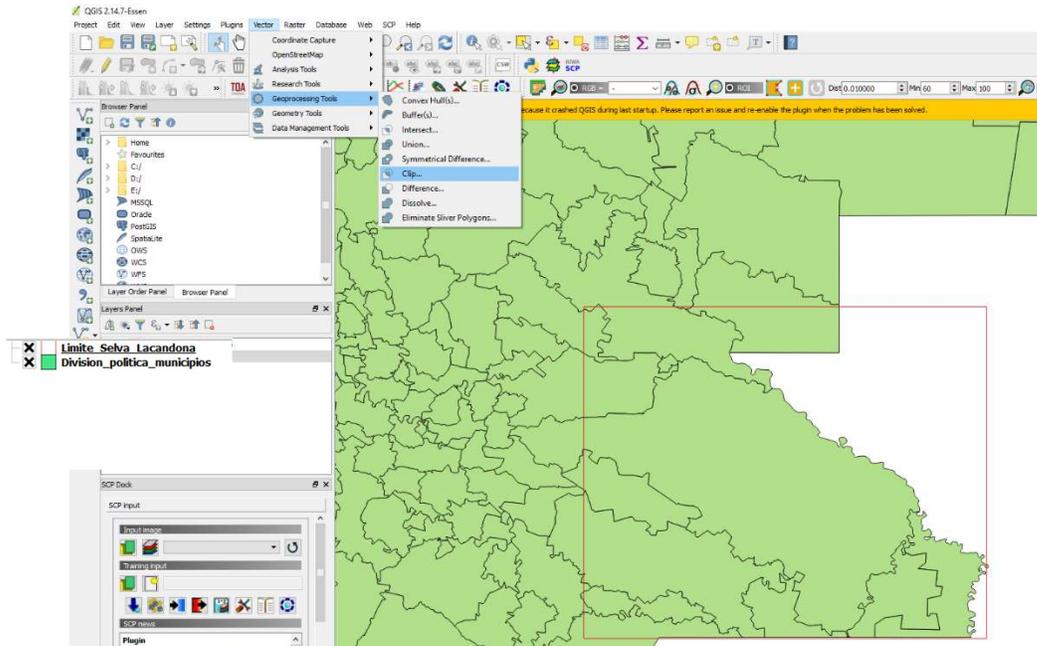


Figura 37. Pantalla de inicio Qgis, en rojo se observa el área de estudio y en verde los municipios de la región

Finalmente, el resultado es un recorte de la información del área de estudio:

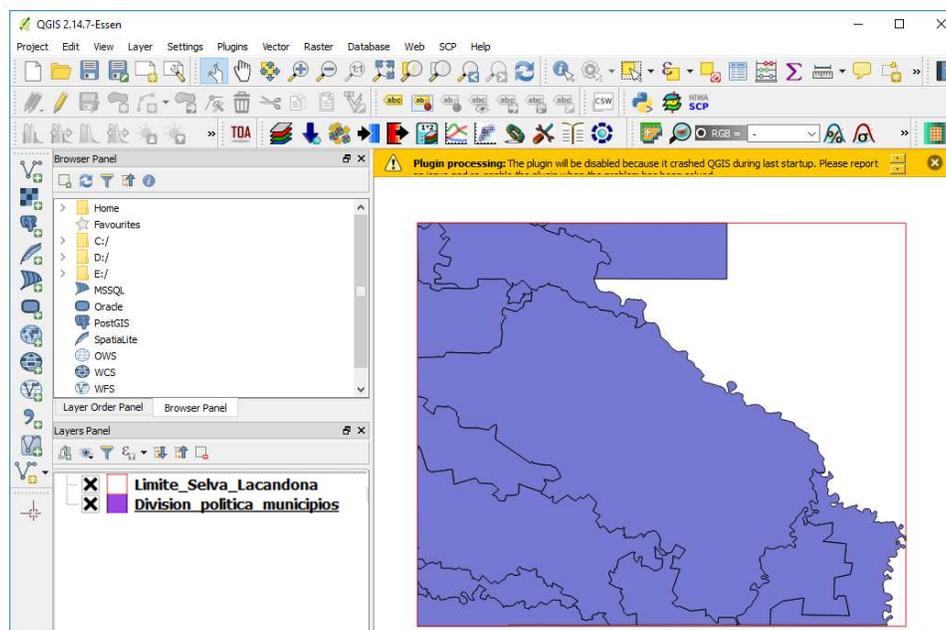


Figura 38. Pantalla de inicio Qgis, en rojo se observa el área de estudio y en morado los municipios de la zona de estudio.

## Resultados

### Normalized Difference Vegetation Index (NDVI):

Detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica en la región de la Selva Lacandona para medición de deforestación

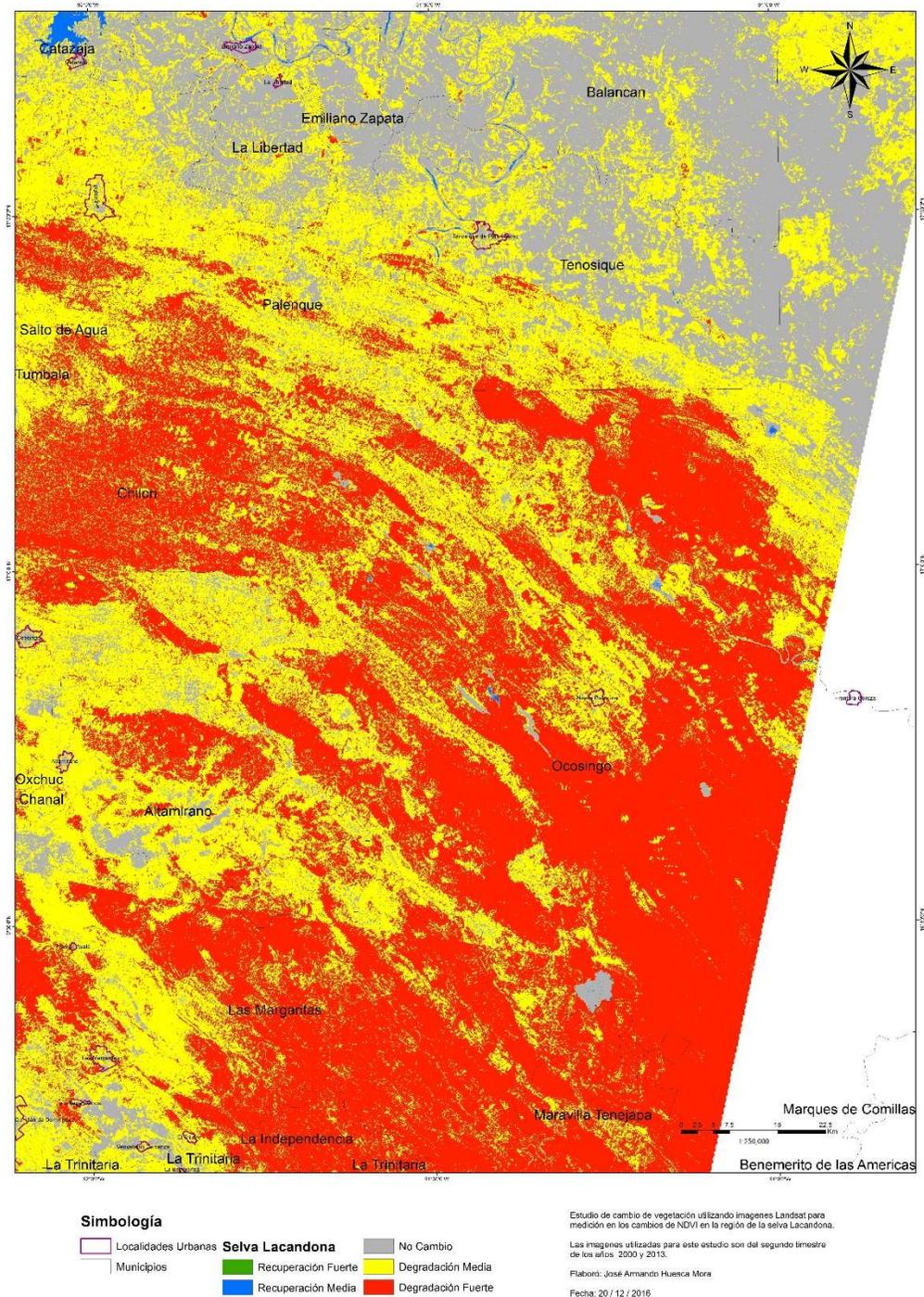
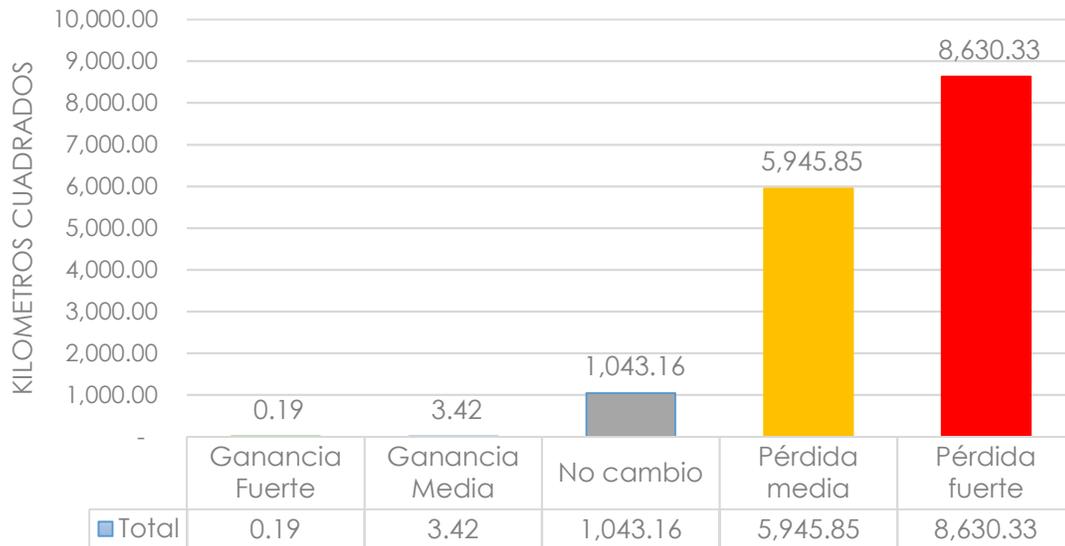


Figura 39. Imagen NDVI escala 1:250 000 para una impresión en 90 x 60 cm.

Se tiene la siguiente información de acuerdo con la superficie afectada estudiada a través NDVI:



**Figura 40.** Gráfica de superficie acumulada NDVI en relación con la superficie,

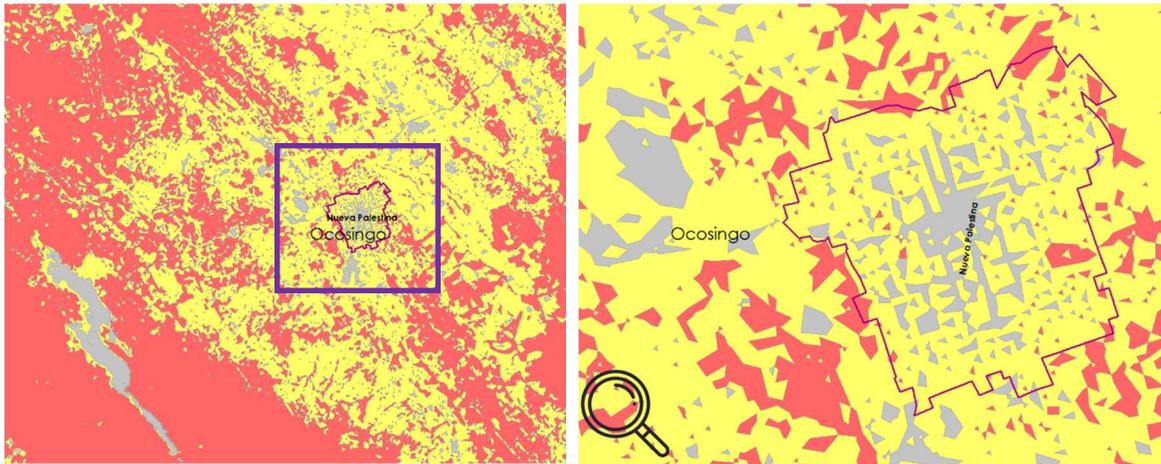
Tipo de cambio	Porcentaje
Ganancia Fuerte	0.00%
Ganancia Media	0.02%
No cambio	6.68%
Pérdida media	38.06%
<b>Pérdida fuerte</b>	<b>55.24%</b>
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

**Figura 41.** Tabla de porcentaje con respecto a la superficie acumulada,

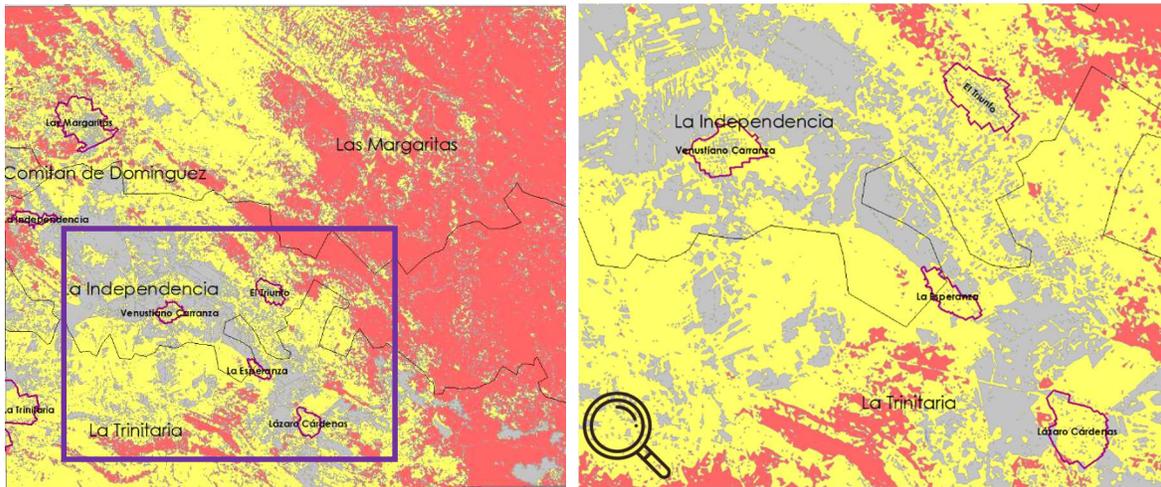
Por lo tanto, es evidente que la región ha perdido vegetación, el mayor peso recae en una pérdida fuerte, la cual se debe a un aumento en las actividades económicas (tala, siembra, ganadería).

En la zona norte, comprendida por los municipios de Balancan, Tenosique, Emiliano Zapata y La Libertad sufre pérdidas menores en cuanto a vegetación; esta región ha sido utilizada históricamente por la industria cafetalera y la cosecha de otros frutos en el estado de Chiapas (figura 39).

Se aprecia una degradación media en un primer perímetro de las poblaciones y existe una degradación fuerte en un segundo perímetro que se extiende por toda la zona de estudio (figura 42 y 43).

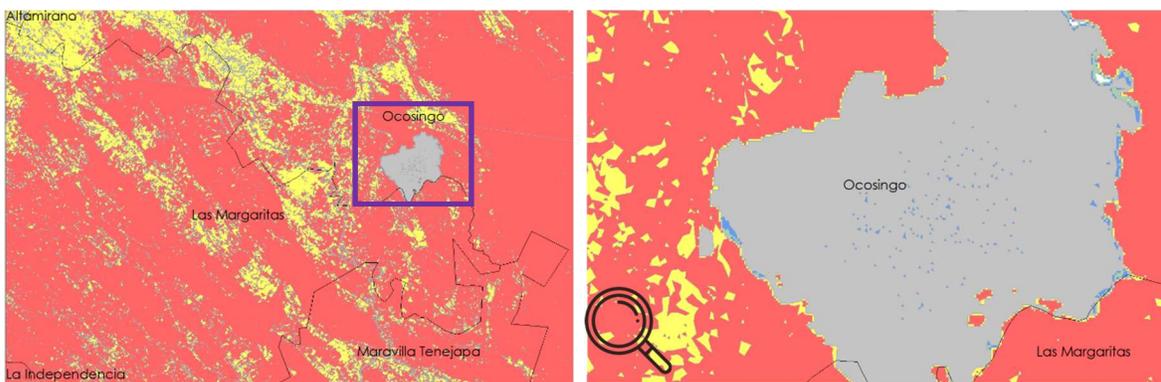


**Figura 42.** Poblado Nueva Palestina, Municipio de Ocosingo, en la cual se aprecia una degradación media en el círculo interior y una degradación fuerte en un segundo perímetro.



**Figura 43.** Poblados Venustiano Carranza y El Triunfo, Municipio La Independencia; La Esperanza y Lázaro Cárdenas, Municipio La Trinitaria. Se observa una degradación media en el primer perímetro de todas las localidades.

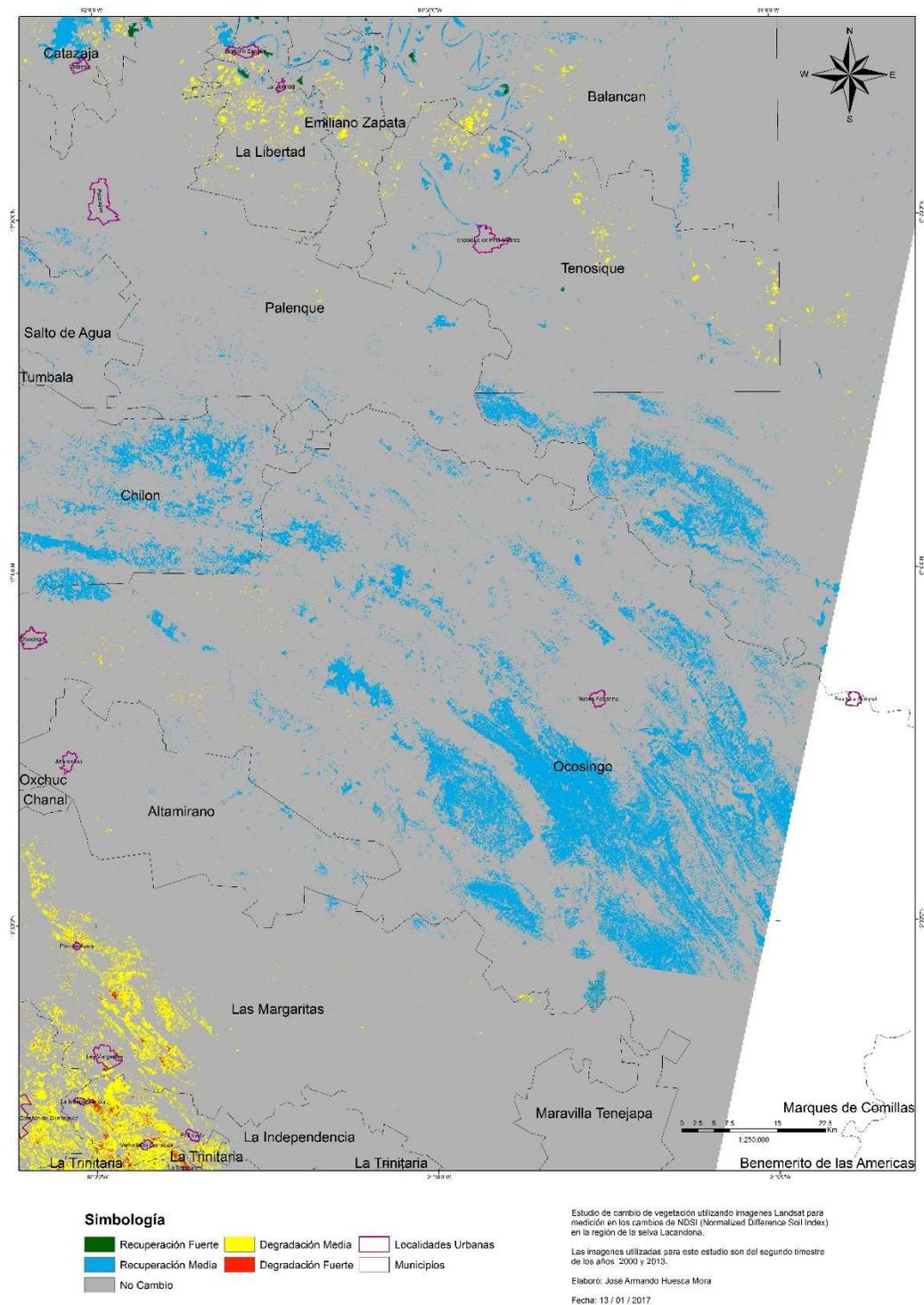
En los cuerpos de agua, se observa una ganancia vegetativa, lo cual indica evaporación producido por la reducción de los lagos y lagunas, generando vegetación en áreas antes ocupadas por agua (figura 44).



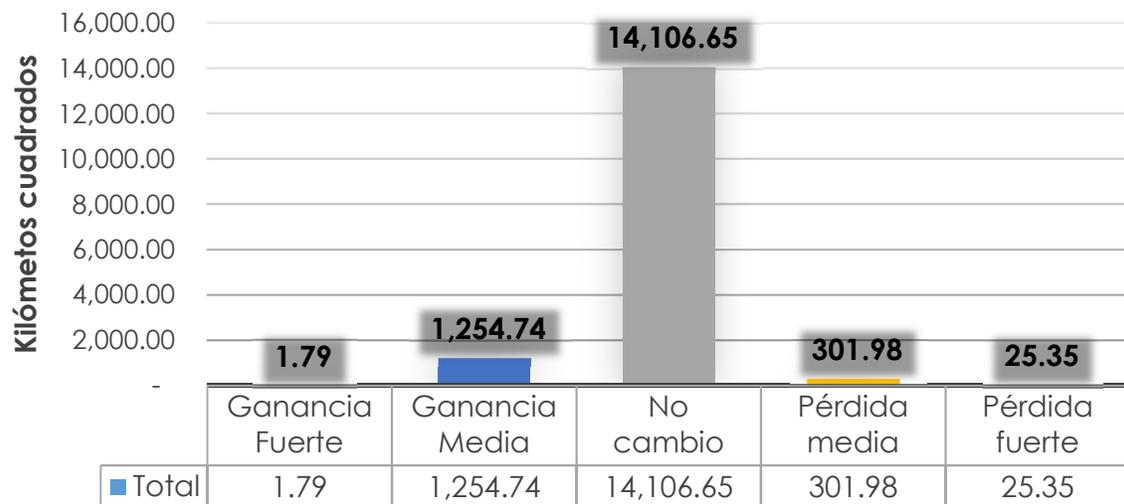
**Figura 44.** Laguna de Miramar, extensión de 16 km<sup>2</sup>, en azul zonas de ganancia vegetativa en la ribera.

## Normalized Difference Soil Index (NDSI):

Detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica en la región de la Selva Lacandona para medición de deforestación



**Figura 45.** Imagen NDSI escala 1:250 000 para una impresión en 90 x 60 cm.

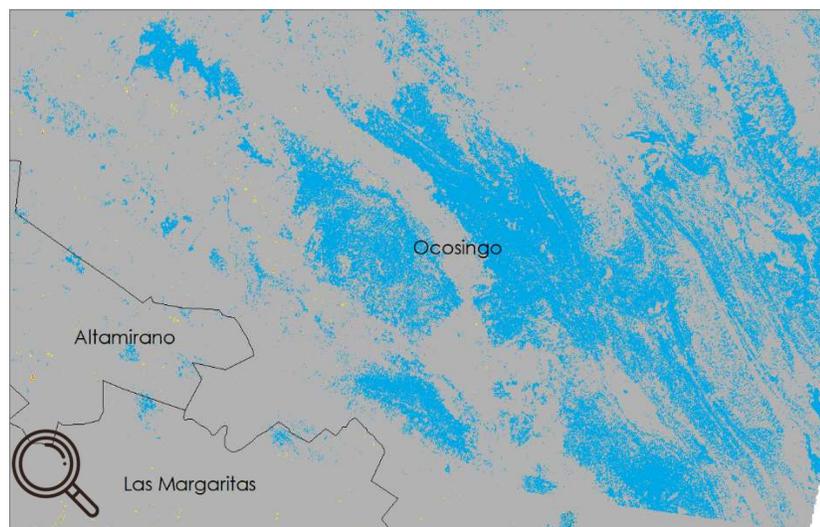


**Figura 46.** Gráfica de superficie acumulada NDSI en relación con la superficie,

Tipo de cambio	Porcentaje
Ganancia Fuerte	0.01%
Ganancia Media	8.00%
No cambio	89.91%
Pérdida media	1.92%
Pérdida fuerte	0.16%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>

**Figura 47.** Tabla de porcentaje con respecto a la superficie acumulada,

Se observa una ganancia media de suelos desnudos en la región central, en otras palabras, una degradación vegetativa; la zona afectada es la superficie con mayor altura de la selva, la cual es una zona de difícil acceso para su protección.



**Figura 48.** Acercamiento a los municipios de Ocosingo, Altamirano y Las Margaritas, en azul la ganancia media de suelos desnudos.

## VIII. Conclusiones

- Analizando las imágenes, la pérdida de vegetación es grave en la región de La Selva Lacandona por lo que se concluye que requiere una mayor atención por parte de las autoridades, apoyados por un seguimiento desde modelos apoyados por técnicas de percepción remota.
- Se cumplió el objetivo, el cual fue identificar las zonas de tala y el cambio de uso de suelo que existen en la Selva Lacandona; utilizando percepción remota, software libre e imágenes de libre acceso.
- Como plan a futuro, se propone un proyecto que continúe este estudio, incorporando software de licencia e imágenes que contengan una mayor resolución espacial, con la finalidad de dar una visión más detallada de la región. Las imágenes con un tamaño de pixel entre 1 y 5 metros permitirán apreciar el crecimiento de las comunidades y construcciones aisladas indetectables para un pixel de 30m expresado en este estudio. La colocación de puntos de control en sitio con equipo GPS sobre edificaciones que no han sufrido modificación en el tiempo es necesario para minimizar el error en este estudio futuro.

## Bibliografía

- National Aeronautics and Space Administration. No Disponible. Landsat 7 Science Data Users Handbook. 2017, de NASA Sitio web: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- Department of the Interior U.S. Geological Survey. (2016). LANDSAT 8 (L8) DATA USERS HANDBOOK. 2017, de USGC Sitio web: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/>
- Xiangsheng Kong / Yonggang Qian. (2013). Cloud and shadow detection and removal for Landsat-8 data. 2017, de Ludong University, Yantai, Shandong, China Sitio web: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org>
- Francisco Darío Maldonado / João Roberto dos Santos. (2005). Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica. 2016, de Universidad Nacional de San Juan-UNSJ Sitio: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto
- GRASS Development Team. (2003). GRASS GIS 7.0.6svn Reference Manual. 2017, de Open Source Geospatial Foundation Sitio web: <https://grass.osgeo.org/grass70/manuals/>
- Siamak Khorram • Frank H. Koch. (2012). Remote Sensing. USA: Springer.
- Anita Graser. (2016). Learning QGIS. UK: Packt Publishing.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional. (1974). Estudio de gran visión de la zona Lacandona Chiapas. 2017, de INEGI Sitio web: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825220099>
- Desconocido. (2010). La enigmática Selva Lacandona. 2017, de México Desconocido Sitio web: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/la-selva-lacandona-historia-belleza-y-cultura.html>
- Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, 2017, <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>