



**Análisis multitemporal del cambio de coberturas en la cuenca del Lago Guamuez
(Pasto, Nariño) durante el periodo 1986-2016**

Gabriel Andrés Puentes Gutiérrez

Henry Jesús Solarte Fajardo

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

**Análisis multitemporal del cambio de coberturas en la cuenca del Lago Guamuez
(Pasto, Nariño) durante el periodo 1986-2016**

Gabriel Andrés Puentes Gutiérrez

Henry Jesús Solarte Fajardo

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

PhD. Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado Análisis multitemporal del cambio de coberturas en la cuenca del Lago Guamuez (Pasto, Nariño) durante el periodo 1986-2016, cumple con los requisitos para optar al título de especialista en Sistemas de Información Geográfica

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá, 06 enero 2023

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Antecedentes	15
1.1 Contexto Internacional	15
1.2 Contexto Nacional	16
2. Objetivos	17
2.1 Objetivo general	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. Marco teórico	18
3.1 Fundamentos de teledetección	18
3.2 Imágenes Landsat	19
3.3 Metodología Corine Land Cover	19
3.4 Clasificación Supervisada	20
3.5 GEOBIA	20
3.6 Cambios de cobertura en la superficie terrestre	20
4. Metodología	22
4.1 Área de estudio	22
4.2 Materiales	22
4.2.1 eCognition	23
4.2.2 ArcGIS	23
4.2.3 ERDAS Imagine	23
4.2.4 ENVI	24

4.3 Selección y descarga de imágenes	24
4.4 Recopilación de información	29
4.5 Procesamiento digital de imágenes	30
4.5.1 Preparación de imágenes	31
4.5.2 Corrección atmosférica.....	32
4.5.3 Cálculo de valores de radiancia	38
4.5.4 Cálculo de reflectancia	38
4.6 Clasificación supervisada de imágenes	39
4.6.1 Segmentación de las imágenes Landsat.....	39
4.6.2 Entrenamiento del modelo.....	41
4.6.3 Leyenda utilizada para la clasificación.....	41
5. Resultados y discusión	42
5.1 Selección de bandas para la clasificación supervisada.....	42
5.2 Segmentación de las imágenes en eCognition	44
5.3 Clasificación supervisada.....	45
5.4 Cuantificación de las coberturas	47
Conclusiones	51
Referencias bibliográficas.....	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ficha de metadatos para imágenes Landsat en Colombia	24
Figura 2. Búsqueda por fechas	25
Figura 3. Data Set Search.....	25
Figura 4. Search Results	26
Figura 5. Imagen Descargada	27
Figura 6. Metadato de las imágenes descargadas	28
Figura 7. Imagen Laguna de la cocha 1986	28
Figura 8. Imagen Laguna de la cocha 2016	28
Figura 9. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra – Colombia	29
Figura 10. Ecuación para el cálculo del OIF.....	31
Figura 11. Recorte de imagen Landsat 5 1986	31
Figura 12. Recorte imagen Landsat 8 2016	32
Figura 13. Archivo tipo ENVI	33
Figura 14. Despliegue de la imagen Landsat en ENVI.....	33
Figura 15. Bandas escogidas según el criterio OIF.....	33
Figura 16. Parámetros de radiancia escogidos	34
Figura 17. Resultado del ajuste radiométrico de la imagen	35
Figura 18. Ajustes FLAASH Atmospheric correction para las imagenes Landsat.....	35
Figura 19. Resultados del ajuste de radiancia a las imágenes Landsat	36
Figura 20. Comparación de imágenes landast antes y después de los ajustes radiométricos efectuados	36

Figura 21. Firmas espectrales antes y después de los cambios radiométricos.....	37
Figura 22. Cálculo de valores de radiancia.....	38
Figura 23. Cálculo de valores de reflectancia.....	38
Figura 24. Leyenda utilizada para la clasificación de coberturas en eCognition.....	41
Figura 25. Segmentación multiescalar realizada a la imagen "Laguna Cocha 1986"	44
Figura 26. Segmentación multiescalar realizada a la imagen "Laguna Cocha 2016"	44
Figura 27. Clasificación Supervisada orientada a objetos de la imagen "Laguna Cocha 1986" ..	46
Figura 28. Clasificación Supervisada Orientada a objetos de la imagen "Laguna Cocha 2016".	46
Figura 29. Áreas de las coberturas presentes en los años analizados para la Laguna Cocha	47
Figura 30. Porcentajes de cambio del año 1986 al 2016 en la Laguna Cocha.....	48
Figura 31. Áreas de Cambio en las coberturas presente en Laguna Cocha	49

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Imágenes seleccionadas	22
Tabla 2. Parámetros de segmentación utilizados para la imagen Laguna Cocha 1986	39
Tabla 3. Parámetros de segmentación utilizados para la imagen Laguna Cocha 2016	40
Tabla 4. Valores de OIF calculados para las bandas de la imagen "Laguna Cocha 1986"	42
Tabla 5. Valores de OIF calculados para las bandas de la imagen "Laguna Cocha 2016"	43

Resumen

El presente trabajo pretende calcular el cambio de la cobertura en un área geográfica específica y dentro de unos límites temporales dados, recurriendo para ello a imágenes satelitales landsat. El trabajo emplea una metodología que inicia en la descarga de imágenes, las cuales serán procesadas con programas especializados tales como Erdas, - Arcgis - ENVI. Posteriormente se realizó una clasificación supervisada de estas imágenes bajo el paradigma de orientación a objetos GEOBIA con el fin de caracterizar las coberturas presentes en cada uno de los años analizados. Se encontró que existió pérdida de cobertura boscosa de aproximadamente 4.6% la cual tuvo transición a suelo desnudo, así mismo el pasto tuvo una transición aproximada del 21.8% a suelo desnudo para los años analizados.

Estos cambios de cobertura obedecen al establecimiento de instalaciones de tipo recreativas y minería ilegal identificada en la zona por diversas fuentes de información. Por otro lado, se evidencio que el espejo de agua no tuvo cambios en su extensión gracias a las restricciones para el uso de los servicios ecosistémicos de la laguna otorgadas por la declaración como zona RAMSAR. Se concluye que en la Laguna de la Cocha existen cambios en las coberturas de suelos ocasionados por las presiones antrópicas que tiene este territorio, favoreciendo la transición a suelo desnudo que conllevara si se sigue con la tendencia a la pérdida de la cobertura boscosa de las zonas aledañas a la laguna.

Palabras clave: Cobertura, Deforestación, Imágenes, Landsat, Procesamiento de imágenes.

Abstract

The present work aims to calculate the change in coverage in a specific geographic area and within given time limits, using landsat satellite images. The work employs a methodology that begins with the download of images, which will be processed with specialized programs such as Erdas, - Arcgis - ENVI. Subsequently, a supervised classification of these images was carried out under the GEOBIA object-oriented paradigm in order to characterize the land cover present in each of the years analyzed. It was found that there was a loss of forest cover of approximately 4.6%, which had a transition to bare soil, and grass had a transition of approximately 21.8% to bare soil for the years analyzed.

These changes in cover are due to the establishment of recreational facilities and illegal mining identified in the area by various sources of information. On the other hand, it was found that the water mirror did not change in its extension thanks to the restrictions on the use of the lagoon's ecosystem services granted by the declaration as a RAMSAR zone. It is concluded that in the Laguna de la Cocha there are changes in soil cover caused by anthropic pressures on this territory, favoring the transition to bare soil that will lead to the loss of forest cover in the areas surrounding the lagoon if the trend continues.

Keywords: Coverage, Deforestation, Imagery, Landsat, Image processing.

Introducción

La Laguna de la Cocha es uno de los más extensos lagos andinos, ubicado al oriente de Pasto – Nariño. Este cuerpo de agua “ocupa parte de los territorios de los corregimientos de La Laguna, Catambuco, El Encano y Afiladores, todos ellos pertenecientes al departamento de Nariño” (Cabrera, 1970, p. 1).

La Laguna de la Cocha actualmente tiene la connotación de Reserva Forestal Protectora (RFP) en el cual, el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible establece que en estas áreas el objetivo principal es la protección del suelo, la regulación del régimen hidrológico y la conservación del ambiente (Decreto 2811 de 1974, 1974). Sin embargo, actualmente existen un sin número de problemáticas socio-ambientales que van en contraposición con la declaración de área de protección, dentro de los que se destaca la contaminación por aguas residuales industriales producto de la práctica de minería ilegal y utilización de plaguicidas para el sostenimiento de diversos tipos de cultivos propios de tierra fría lo que a largo plazo a generado cambios en las coberturas y usos del suelo (Sotelo, 2021).

La deforestación en general de todo el departamento de Nariño se explica por tres fenómenos; los aserríos para utilizar la madera comercialmente, la tala para la utilización como combustible (leña o carbón de origen vegetal) y la siembra de diferentes cultivos ilícitos. El consumo de madera representa aproximadamente el 5 % del consumo nacional (Viloria de la Hoz, 2007).

Las prácticas de estas actividades han generado una transformación en las diferentes coberturas vegetales y cuerpos de agua que se encuentran en la zona.

Es necesario realizar estudios periódicos de diferentes índices para tener un control y registro detallado del estado ambiental del territorio. La globalización tecnológica ofrece una

alternativa conocida como “análisis multitemporal” que permite determinar y analizar los cambios a los que ha estado sujeta la superficie terrestre o predecir los posibles cambios que puedan ocurrir en el futuro por diferentes tipos de actividades.

Hoy en día atendiendo al progreso tecnológico, el mundo cuenta con múltiples insumos provenientes de sensores remotos que permiten diagnosticar los cambios que ha tenido las coberturas y usos del suelo con el fin de generar análisis para tomar medidas que permitan mitigar sus efectos (Soldano, 2009).

El presente trabajo corresponde a una investigación aplicada sobre el área de la teledetección y fue desarrollado en la cuenca de lago Guamuez ubicada en el municipio de Pasto. Dicho trabajo utiliza los atributos de las imágenes LANDSAT y los sensores remotos para examinar los registros del estado de la cuenca e identificar las coberturas presentes en diferentes periodos de tiempo. Esta información permite realizar diferentes estudios para analizar el comportamiento y la transformación de las dinámicas ecosistémicas de la cuenca. Este estudio se realizó en el tiempo comprendido entre 1986 y 2016.

1. Antecedentes

Alrededor del mundo se han realizado diversos estudios los cuales intentan determinar y cuantificar los constantes cambios en las dinámicas ecosistémicas, el estudio de estas dinámicas biológicas y las transformaciones físicas del entorno permiten identificar las principales actividades que afectan la cobertura terrestre además de la degradación de especies nativas, estos estudios brindan la posibilidad de diseñar estrategias óptimas para la conservación de especies.

1.1 Contexto Internacional

En primera instancia el estudio realizado por Ponce (2010) buscaba el análisis y la determinación del cambio temporal del uso del suelo en la zona centro-norte de la provincia del capitán Prat, Chile, a través del uso de imágenes satelitales de la misión landsat en los años 1984 y 2003 en este estudio se recopiló e incorporó la información generada por la entidad catastral realizada en el año 1996, se planteó la utilización del índice de vegetación NDVI, para poder determinar los diferentes cambios en los usos de suelo con el fin de generar cartografía temática a partir de las imágenes satelitales y analizar y cuantificar las transformaciones en la zona de estudio en los diferentes periodos evaluados. Lo anterior, dio como resultado que los cambios en las coberturas fueron significativamente diferentes en los años analizados mostrando una disminución de aproximadamente el 35% para las coberturas vegetales analizadas.

Por otro lado, Insaurralde (2012) analizó las variaciones de las coberturas espaciales en el sector suroeste de la provincia del Chaco, un área de expansión agrícola, por medio de la Teledetección. Se encontró que la cobertura tipo monte presentó “un descenso en su superficie de 47,64 %, mientras que otra cubierta como la de cultivos manifiesta un aumento del 65,46 %, al igual que los suelos desnudos” (Insaurralde, 2012, p. 31), determinó que el desarrollo agrícola en esta región de Argentina ha reemplazado significativamente las coberturas vegetales forestales.

En la región asiática se tiene el estudio realizado por Sari et al. (2022) estudiaron el cambio multitemporal de la cobertura boscosa presente en Kalimantan – Indonesia utilizando un modelo bayesiano fundamentado en arboles de decisión y redes neuronales para realizar la clasificación supervisada del suelo y el análisis multitemporal del mismo desde el año 2000 hasta el 2018. En este trabajo se determinó que anualmente se perdió entre 2.5% - 5% de la cobertura vegetal boscosa que fue remplazada por cultivos de palma de aceite y caucho.

1.2 Contexto Nacional

En Colombia, Ordoñez y Serna (2015) realizaron un análisis superficial y multitemporal de imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero la luna entre los años 2001 y 2015 en Colombia, donde encontró cambios significativos en las coberturas de suelo asociados a minería con porcentajes de transición de 25% aproximadamente en los años analizados, transición que fue atribuida a la pérdida de cobertura vegetal y bosques densos.

Por otro lado, Pulido (2021) estudio los cambios multitemporales en las coberturas presentes en el bajo cauca antioqueño, haciendo uso de imágenes provenientes del sensor Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI. Se encontró que los cambios en la cobertura forestal de esta región de Colombia fueron generados por minería aluvial de oro, mostrando perdidas de cobertura boscosa de aproximadamente 38% entre los años 1986 al 2020.

Finalmente se encuentra el estudio de Guzman y Flores (2019) estudiaron la fragmentación del paisaje realizando análisis multitemporales con imágenes del sensor Landsat 7 ETM+, entre los años 1986 a 2013 en el municipio de montelibano – Cordoba, Colombia. Allí determinaron que se han perdido aproximadamente 12% de la cobertura boscosa de este municipio para transición a ganadería intensiva.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar el análisis multitemporal de cambio de coberturas de la tierra, en la subcuenca del lago Guamuez entre los años 1986 y 2016, localizada en el municipio de Pasto en el departamento de Nariño.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las coberturas presentes en la zona para los años 1986 y 2016, a través de una clasificación supervisada basada en objetos.
- Evaluar los cambios presentados en las coberturas de la tierra para los 1986 y 2016 mediante cuantificación pixel a pixel en las imágenes analizadas.

3. Marco teórico

En el presente capítulo se desarrollarán los conceptos teóricos necesarios para la ejecución de este proyecto, por lo cual es necesario tener en cuenta los fundamentos en teledetección que permiten la identificación de las coberturas según su firma espectral, así como las características técnicas del sensor remoto escogido para obtención de las imágenes fuente, los métodos de caracterización de coberturas que se están utilizando actualmente y los métodos de clasificación de imágenes “contemporáneos” que se utilizan para identificar coberturas a diferentes escalas.

3.1 Fundamentos de teledetección

La teledetección es la ciencia de adquirir información acerca de la superficie terrestre sin estar en contacto con ella. Esto se logra a partir de sensores que toman la energía reflejada de la tierra y la guardan en imágenes para posteriormente procesarla analizarla y aplicarla en diferentes tipos de ciencias y/o industrias. Existen diferentes tipos de sensores que permiten adquirir imágenes con diferentes tipos de resoluciones espaciales, temporales, radiométricas y espectrales según las necesidades del usuario (Natural Resources Canada, 2015).

Parte del procesamiento que se debe realizar a las imágenes obtenidas a partir de procesos de teledetección para poder generar información de interés es la clasificación de imágenes, para lo cual se han propuesto diversas metodologías y algoritmos que permiten la clasificación de coberturas según los niveles digitales de la imagen y según las formas que representan las coberturas en el terreno. Las metodologías que se utilizan más frecuentemente son las basadas en el paradigma de la orientación al pixel, las cuales realizan la clasificación de coberturas mediante la radiometría de la imagen, sin embargo, actualmente se está estableciendo como nueva forma

de generar clasificación de imágenes la orientación a objetos la cual tiene en cuenta la radiometría como la forma del terreno a analizar (Al-Doski et al., 2013).

3.2 Imágenes Landsat

El sensor Landsat se caracteriza por ser pasivo – heliosincronico, es decir, necesita de una fuente de energía externa para poder capturar los niveles digitales de una zona en particular por lo que orbita sobre la tierra en el mismo periodo que el sol. Actualmente Landsat tiene en órbita 2 de sus nueve misiones (Landsat 8 y Landsat 9) que vienen recopilando información desde 2013 y 2021 respectivamente (García A. , 2021).

Las imágenes Landsat sobresaltan por la amplia resolución espectral que poseen, en general tiene siete bandas espectrales y una pancromática. La resolución espacial de estas imágenes por lo general es de 30 metros y cada escena cubre un área de 185Km². Estas imágenes tienen múltiples campos de aplicación, y dada su amplia gama de bandas son idóneas para realizar clasificación de coberturas y análisis multitemporales de municipios o departamentos enteros (García A. , 2021).

3.3 Metodología Corine Land Cover

Esta metodología se utiliza para caracterizar los distintos tipos de coberturas vegetales, cuerpos de agua, zonas urbanas entre otras, promovido por la Comisión de la Comunidad Europea fue desarrollado el proyecto de cobertura de la tierra CORINE Land Cover 1990, el cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra (Martínez y Murcia, 2010).

En Colombia la leyenda nacional de coberturas permite describir, clasificar y comparar las características de la cobertura terrestre.

De acuerdo con la información adquirida y acorde a las condiciones locales del territorio se establecen categorías jerárquicas a partir de ella, se podrá obtener información sobre la ocupación de la tierra de manera uniforme (Chilagane et al., 2020).

3.4 Clasificación Supervisada

Con este método se definen las variaciones espectrales que ofrecen los elementos de la superficie plasmadas en una imagen satelital, el conocimiento de la zona de estudio puede ser mínimo, con esta metodología se caracterizan los parámetros definidos por el usuario, se limita el número de clusters de pixeles que tienen valores similares; estas agrupaciones tendrán un comportamiento espectral similar, lo cual permite la identificación entre tonalidades de la imagen (Mendoza et al., 2010).

3.5 GEOBIA

El análisis de imágenes orientado a objetos (GEOBIA) es una subdisciplina de las ciencias de información geográfica fundamentada en métodos automatizados para segmentar imágenes de sensores remotos según sus características espaciales (Color, forma, textura) y sus cambios temporales a través del tiempo. La principal herramienta para realizar GEOBIA es la segmentación de imágenes mediante algoritmos de inteligencia artificial y machine learning el cual identifica y clasifica los diferentes objetos geográficos pertenecientes a una imagen en particular (Hay y Castilla, 2008).

3.6 Cambios de cobertura en la superficie terrestre

La Organización Internacional para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), ha determinado que 2.7% de la vegetación natural se ha estado perdiendo o se ha transformado en otro tipo de cobertura, aproximadamente desde el año 1992 se han perdido/transformado 636.000Km². En el caso particular de Colombia la OECD estima que aproximadamente el 1.75%

de su cobertura vegetal nativa de ha transformado gracias a procesos de industrialización, minería ilegal, contaminación, cultivos ilícitos y ganadería intensiva lo que ha generado una pérdida significativa en la biodiversidad del país (OECD, 2018). Por otro lado, la organización WWF (2022), ha estimado que para el año 2022 el cambio en las coberturas vegetales tipo bosque ha sido de aproximadamente 3 millones de hectáreas, aproximadamente un 5% del total reportado para el año 2021.

Actualmente en Colombia, diferentes entidades estatales como el IDEAM, Instituto Alexander Von Humboldt , IGAC, están generando cartografía básica y temática para el estudio de los cambios en las coberturas del suelo a escalas 1:100.000 y mayores con la finalidad de diagnosticar de manera precisa los cambios multitemporales en las coberturas del suelo y los efectos de la deforestación en Colombia con el fin de generar políticas públicas para la protección de los ecosistemas y de la biodiversidad (IDEAM, 2022).

4. Metodología

4.1 Área de estudio

El municipio de Pasto es la capital administrativa del departamento de Nariño, con una población de 445.409 habitantes (CORPONARIÑO, 2017) ubicado en el centro oriente del departamento, al sur occidente de Colombia, tiene una superficie de 6.181 kilómetros cuadrados y se divide política y administrativamente en 12 comunas y 17 corregimientos, su cabecera municipal se ubica a una altitud de 2.527 metros sobre el nivel del mar.

Por su posición geográfica posee gran diversidad de ecosistemas, además de poseer una de las 59 áreas protegidas de Colombia. Su estructura económica se basa en mayor medida en la ganadería, turismo y agricultura. Estas actividades traen grandes beneficios a toda la población, sin embargo, existen otras actividades que generan beneficios económicos con fuertes repercusiones ambientales; como la deforestación para diferentes fines (Cabrera, 1970).

4.2 Materiales

Para el presente estudio se recurrió a la descarga de las siguientes imágenes obtenidas de los satélites LANDSAT y descargadas directamente de la página web

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

En esta investigación, se cuenta con dos imágenes; debido a la alta nubosidad se descartaron muchas imágenes que no eran sensibles al procesamiento digital en este punto se clasificaron los archivos quedando las imágenes con los siguientes nombres):

Tabla 1

Imágenes seleccionadas

Año	Imágenes	Nombre
1986	1	LT50090591986059AAA02.tif

2016	1	LC80090592016014LGN00.tif
Total	2	

4.2.1 eCognition

El software Trimble eCognition es utilizado por profesionales de sistemas de información geográfica, expertos en teledetección y científicos de datos para automatizar el análisis de datos geoespaciales. Impulsado por el análisis basado en objetos eCognition hace una desviación radical de los enfoques convencionales para el análisis de datos debido a su capacidad de emular los poderes cognitivos de la mente humana y fusionar los datos de entrada geoespaciales.

“Utilizando procesos patentados de segmentación y clasificación, eCognition desarrollado un método robusto para generar conocimiento de diversos sensores remotos mediante clasificaciones supervisadas orientada objetos” (Trimble, 2022, párr. 3).

4.2.2 ArcGIS

Plataforma de representación cartográfica y análisis,

ArcGIS ofrece un conjunto amplio de herramientas para aplicar soluciones analíticas basadas en la ubicación a sus prácticas comerciales. (ESRI, 2022, párr. 1)

4.2.3 ERDAS Imagine

Es el software geoespacial de creación estándar de la industria, centrado en procesamiento de imagen, teledetección y GIS ráster. ERDAS IMAGINE es una completa colección de herramientas para crear una precisa base de imágenes y de productos derivados de imágenes para apoyar la toma de decisiones. (ERDAS, 2017, párr. 1)

4.2.4 ENVI

Es una solución en software de procesamiento y análisis avanzado de imágenes geoespaciales, y es utilizado por profesionales del SIG en una amplia variedad de disciplinas. ENVI combina procesamiento de las imágenes espectrales con la tecnología de análisis de imágenes mediante una interfaz intuitiva. (ESRI, 2017, párr. 1)

4.3 Selección y descarga de imágenes

Las imágenes Landsat fueron seleccionadas y descargadas de manera gratuita del servidor del Earth Resources Observation and Science Center - EROS del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS, a través del visualizador Glovis (USGS, 2017).

Para la generación del compuesto de imágenes se descargaron las dos imágenes que se identificaron anteriormente, garantizando la baja cobertura de nubes sobre la zona de estudio. Se precisa que en el desarrollo de este trabajo se utilizaron imágenes descargadas de la página <http://earthexplorer.usgs.gov/> enfocándolas en imágenes LANDSAT.

En la siguiente imagen se muestra la ficha de metadatos de imágenes grilla LandSat.

Figura 1

Ficha de metadatos para imágenes Landsat en Colombia



Fuente: IGAC (2013)

En el diseño de esta investigación se examinarán imágenes desde el año de 1985 hasta el año 2016, por tanto, se ingresan estos rangos de búsqueda:

Figura 2

Búsqueda por fechas

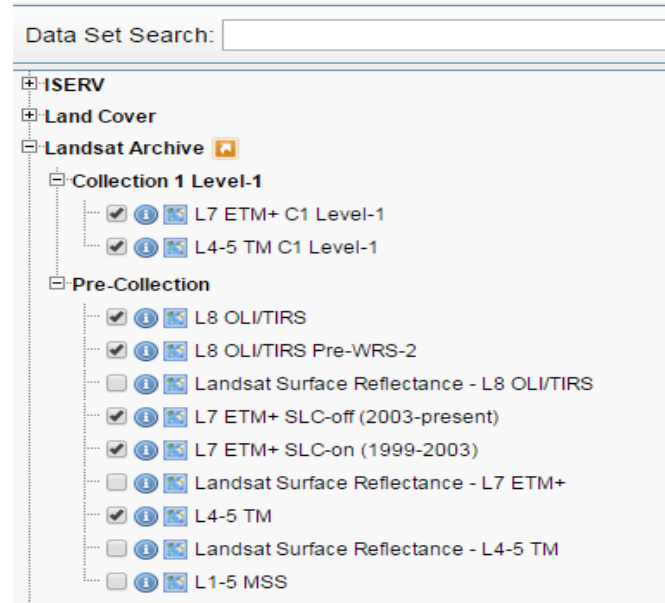
Date Range	Result Options
Search from: 01/01/1985	to: 10/31/2016
Search months: (all)	

Fuente: USGS (2017)

Data Sets: en esta pestaña se escoge el sensor que se desea para realizar la investigación, para el caso se escogió imágenes LANDSAT 4, LANDSAT 5, LANDSAT 7 y LANDSAT 8.

Figura 3

Data Set Search



Fuente: USGS (2017)

Adicionalmente, se encuentran criterios adicionales de búsqueda en la que se encontró lo siguiente:

Para LANDSAT 4 sensor MSS

Para LANDSAT 5 sensor TM

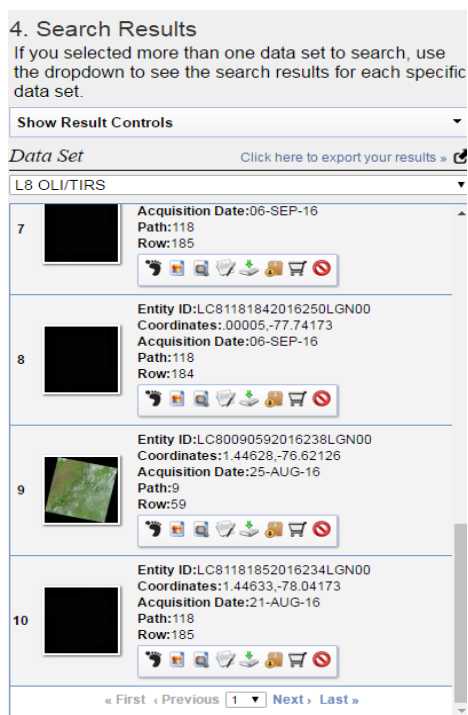
Para LANDSAT 7 sensor ETM+

Para LANDSAT 8 The Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS).

Así, se procede a efectuar clic en la tecla buscar, donde aparecen varios resultados de los que se escogió el más relevante para el estudio.

Figura 4

Search Results

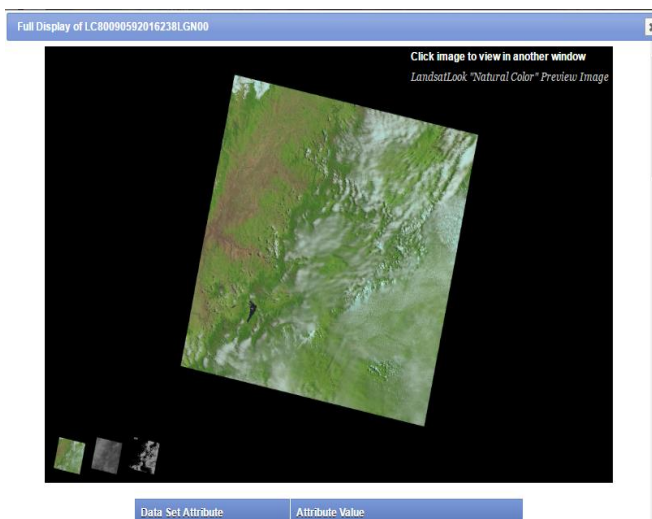


Fuente: USGS (2017)

En consecuencia, se eligió la mejor imagen, y se procedió a la descarga de la misma.

Figura 5

Imagen Descargada



Fuente: USGS (2017)

Al final se tiene la descarga con todas las bandas de la imagen. Se cuenta con un archivo metadato, el cual contiene toda la información dispuesta en él .txt mostrando en la figura 6.

Figura 6

Metadato de las imágenes descargadas

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = "0701605161817_00009"
LANDSAT_SCENE_ID = "LC80090592016014LGN00"
FILE_DATE = 2016-05-18T00:32:33Z
STATION_ID = "LGN"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.6.2"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI_TIRS"
WRS_PATH = 9
WRS_ROW = 59
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 9
TARGET_WRS_ROW = 59
DATE_ACQUIRED = 2016-01-14

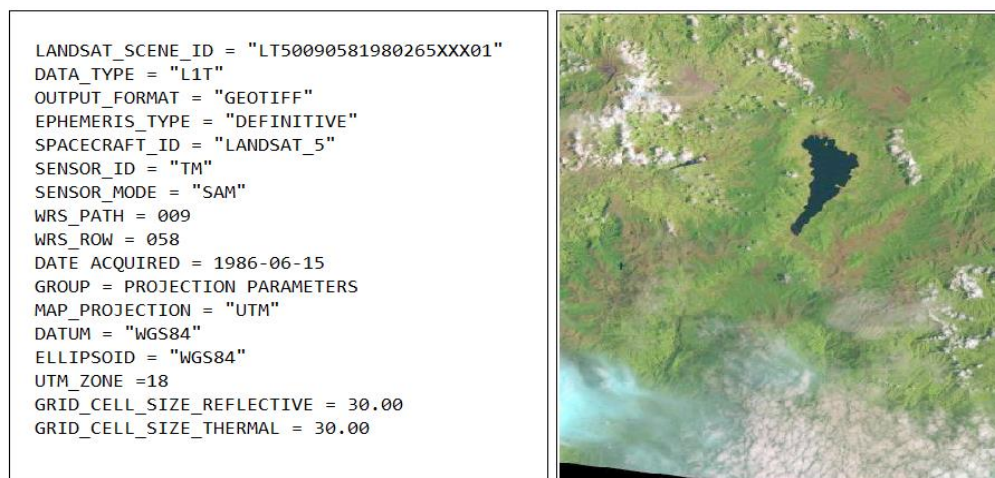
```

Fuente: USGS (2017)

En total se tomaron dos imágenes de diferentes sensores LANDSAT. Luego de la búsqueda y descarga de la información satelital se seleccionaron aquellas que cumplían con los parámetros establecidos los cuales garantizan la eficiencia del trabajo. Las imágenes que cumplían con los parámetros establecidos son las siguientes:

Figura 7

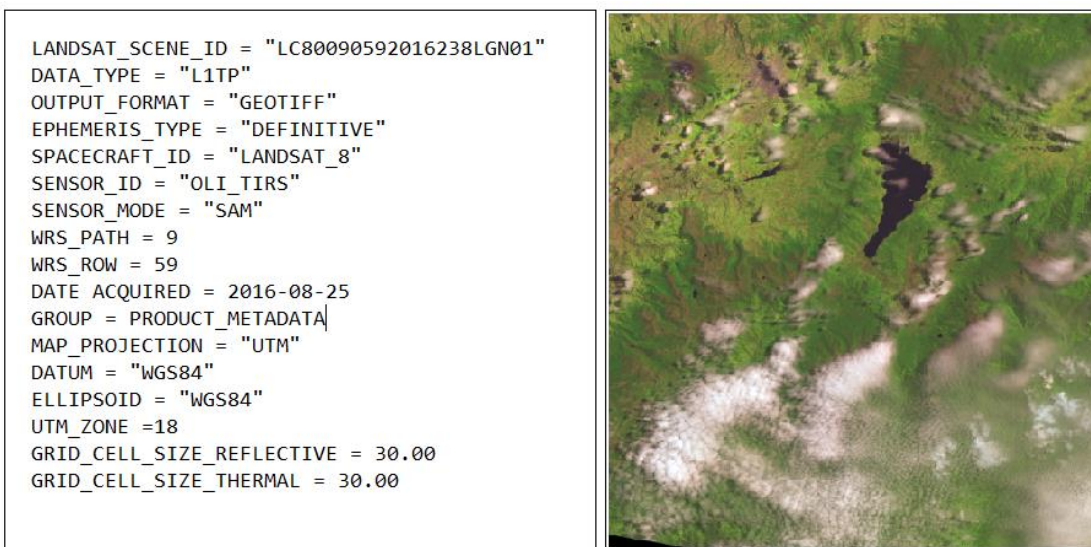
Imagen Laguna de la cocha 1986



Fuente: USGS (2017)

Figura 8

Imagen Laguna de la cocha 2016



Fuente: USGS (2017)

4.4 Recopilación de información

En esta etapa se desarrolló una revisión bibliográfica de investigaciones y documentos realizados en distintas partes del mundo, la información recopilada será base primordial para la ejecución del trabajo, para aplicar los métodos más óptimos para la realización del trabajo.

La búsqueda de información se realizó a través de bases de datos gubernamentales, repositorios universitarios e investigaciones científicas internacionales, la información obtenida sobre análisis multitemporales en diferentes partes del mundo ofrece pautas para el desarrollo de estos estudios. Por otra parte la información relacionada a la cuenca del lago Guamues permitió conocer las características generales del área.

Para la determinación de cambios en las coberturas en los diferentes periodos se realizó una clasificación de coberturas bajo la metodología CORINE LAND COVER propuesta por el IDEAM (2012), para elaborar esta propuesta se tuvo en cuenta que dadas las imágenes LANDSAT a utilizar el nivel con más detalle es el 3 (Figura 9).

Figura 9

Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra – Colombia

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES
1.1. Zonas urbanizadas	3.1. Bosques
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva
	3.2.1.1. Herbazal denso
	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.2.3. Amacachal
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2. Cultivos permanentes	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.2. Caña	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.3. Plátano y banano	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación
2.2.1.4. Tabaco	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.1.5. Papaya	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.1.6. Amapola	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.2. Café	4. ÁREAS HÚMEDAS
2.2.2.3. Cacao	4.1. Áreas húmedas continentales
2.2.2.4. Viñedos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.2.5. Coca	4.1.2. Turberas
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.2. Áreas húmedas costeras
2.2.3.2. Palma de aceite	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.3.3. Cítricos	4.2.2. Salitral
2.2.3.4. Mango	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.2.4. Cultivos agroforestales	5. SUPERFICIES DE AGUA
2.2.5. Cultivos confinados	5.1. Aguas continentales
2.3. Pastos	5.1.1. Ríos (50 m)
2.3.1. Pastos limpios	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.3.2. Pastos arbolados	5.1.3. Canales
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	5.2. Aguas marítimas
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.2.2. Mares y océanos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	5.2.3. Estanques para acuicultura marina
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	

Fuente: Martínez y Murcia (2010)

4.5 Procesamiento digital de imágenes

Es un hecho que la captura de información satelital es de forma remota, por esta razón surgen una serie de errores en las imágenes obtenidas. Antes de clasificar los elementos que se encuentran en la imagen es necesario corregir los errores y así garantizar un análisis eficiente sobre el estudio el área. Las correcciones realizadas fueron las siguientes

Para garantizar el análisis dentro de los límites del área de estudio es necesario recurrir al programa ArcMap y delimitar el área de estudio, La delimitación de la cuenca se realiza con la herramienta “*Hidrology*” y como insumo primario se utiliza un shape descargado del catálogo de datos del IGAC de las curvas de nivel del país para generar un DEM el cual será el archivo de entrada para procesar con la herramienta “*Hidrology*”

4.5.1 Preparación de imágenes

El criterio para la selección de estas bandas a utilizar para la clasificación supervisada se realizó a partir del cálculo del índice de factor óptimo, el cual relaciona el coeficiente de correlación existente entre las bandas y las covarianzas con el fin de escoger las bandas que tengan la mayor cantidad de información con menor duplicidad (Ordoñez y Serna, 2015). Para el cálculo del Índice de factor óptimo se utilizó la siguiente ecuación:

Figura 10

Ecuación para el cálculo del OIF

$$OIF = \frac{Std_1 + Std_2 + Std_3}{|Corr_{1,2}| + |Corr_{1,3}| + |Corr_{2,3}|}$$

Fuente: Ordoñez y Serna (2015)

Contando con las imágenes compiladas con las bandas para el análisis de cobertura vegetal se procedió a realizar el corte de cada escena utilizando el polígono de la cuenca generado anteriormente.

Figura 11

Recorte de imagen Landsat 5 1986

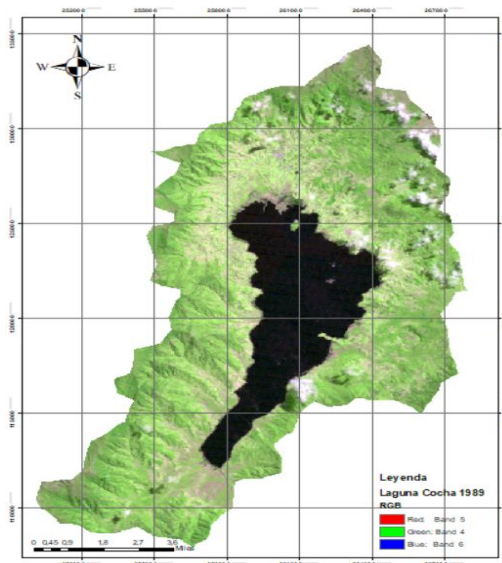
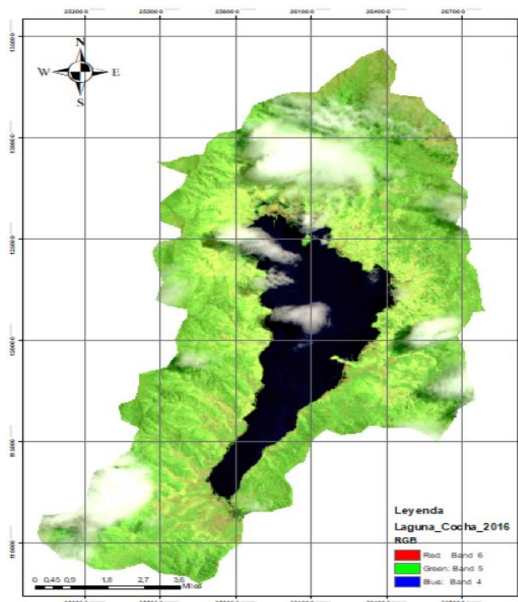


Figura 12

Recorte imagen Landsat 8 2016



4.5.2 Corrección atmosférica

Los elementos que se encuentran presentes en la superficie terrestre emiten y reflejan energía electromagnética la cual es capturada por los sensores remotos de las estaciones satelitales, dicha radiación sufre una serie de distorsiones al interactuar con partículas presentes en la atmosfera que disminuyen el contraste de la imagen. Es necesario realizar una serie de

procedimientos para disminuir el efecto de estas distorsiones en la imagen. Las correcciones se harán con el software ERDAS IMAGINE.

Para realizar la corrección atmosférica de una imagen Landsat 5, se utilizó el programa ENVI 5_3. En este procedimiento primero se encontró la radiancia y luego se procedió a encontrar la reflectancia.

En imagen se busca el archivo .txt y se abre desde ENVI:

Figura 13

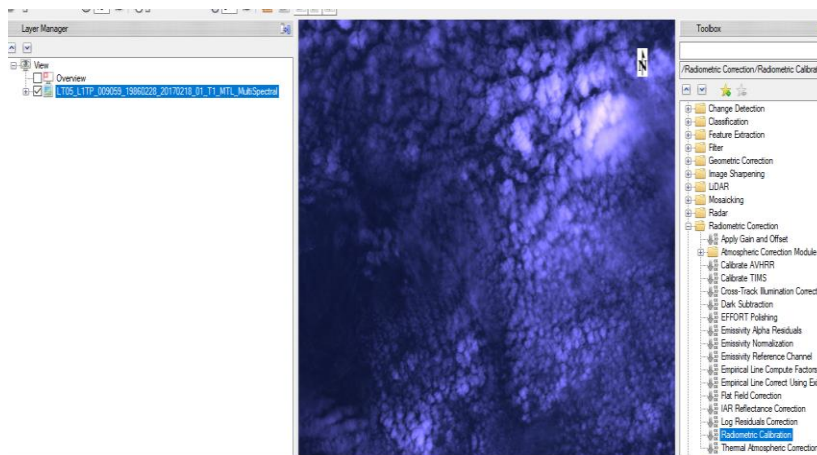
Archivo tipo ENVI

LT05_L1TP_009059_19860228_20170218_01_T1_VER	18/02/2017 10:07	Documento de tex...	35 KB
README.GTF	18/02/2017 10:07	Archivo GTF	9 KB

Como resultado de ese procedimiento da esta imagen:

Figura 14

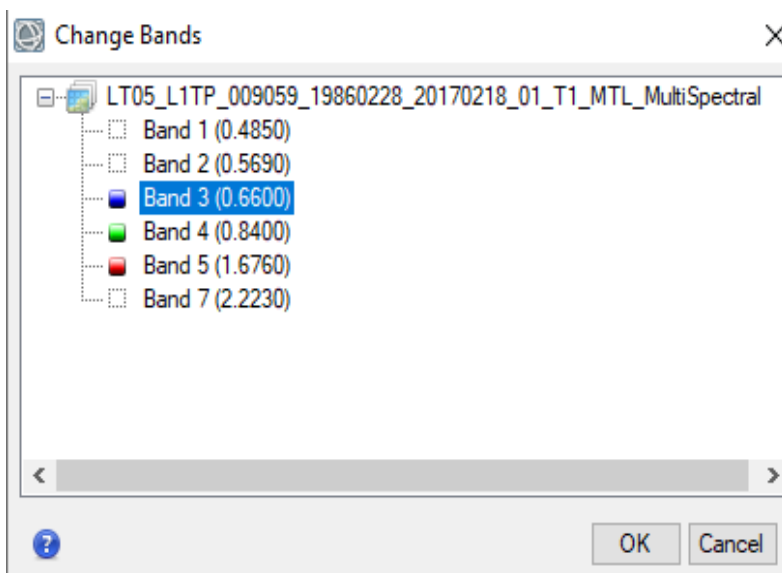
Despliegue de la imagen Landsat en ENVI



Se escogieron las bandas 345 y 356 para las imágenes a analizar, con la opción change bands, estas bandas fueron escogidas según el criterio OIF.

Figura 15

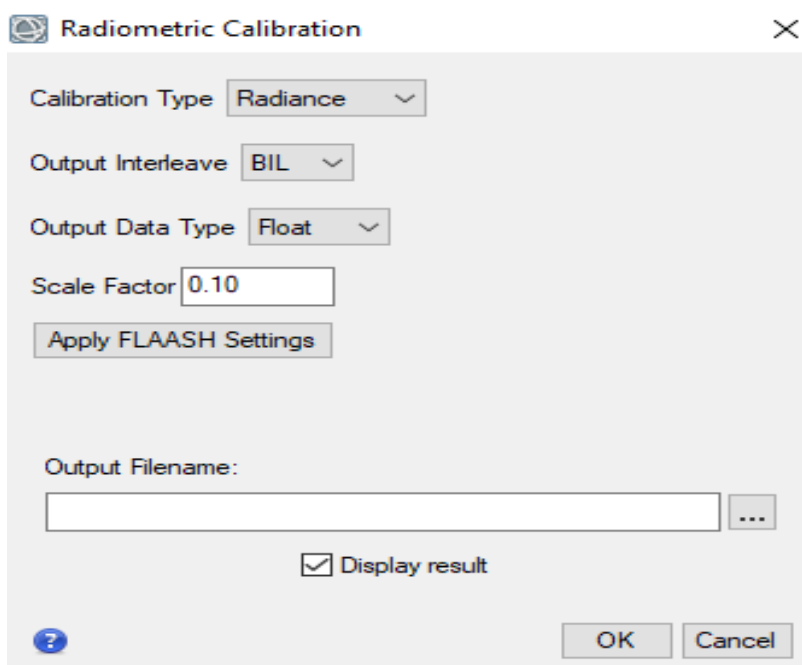
Bandas escogidas según el criterio OIF



Se encontró la Radiancia:

Figura 16

Parámetros de radiancia escogidos



Se dejó el tipo de calibración radiance, Scale Factor 0.1, apply FLAASH Settings. Como resultado se obtiene la radiancia:

Figura 17

Resultado del ajuste radiométrico de la imagen



Ahora se va a corregir la reflectancia para esto se aplicó FLAASH ATMOSPHERIC CORRECTION para eso se escogió la imagen que se generó que es la radiancia.

Figura 18

Ajustes FLAASH Atmospheric correction para las imagenes Landsat

Se dejan los valores tomados del txt que viene del metadato de la imagen. Una vez ejecutado el procedimiento se genera el resultado mostrando en la figura 19:

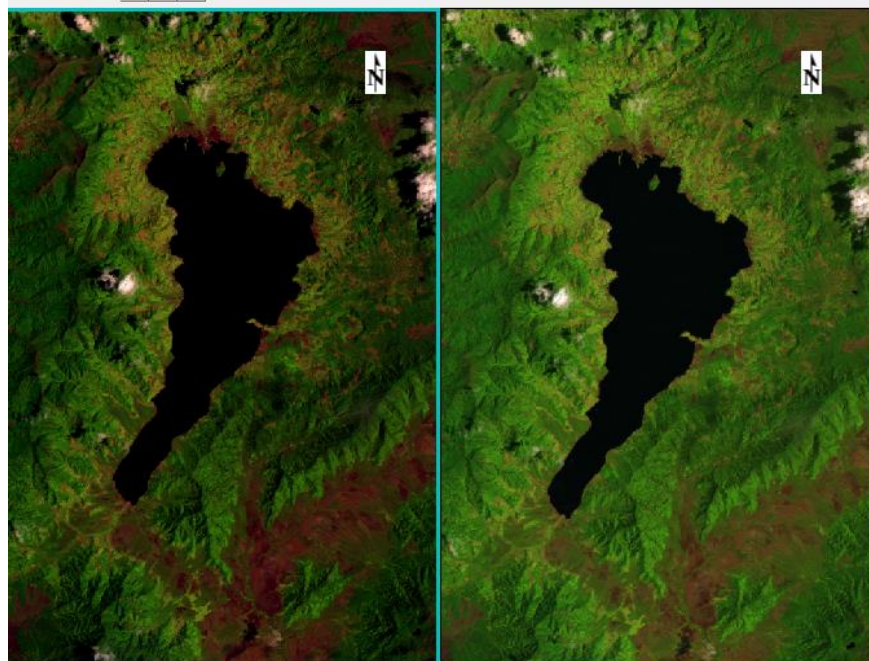
Figura 19

Resultados del ajuste de radiancia a las imágenes Landsat

Se pueden comparar las imágenes de radiancia y reflectancia con las bandas 5-4-3.

Figura 20

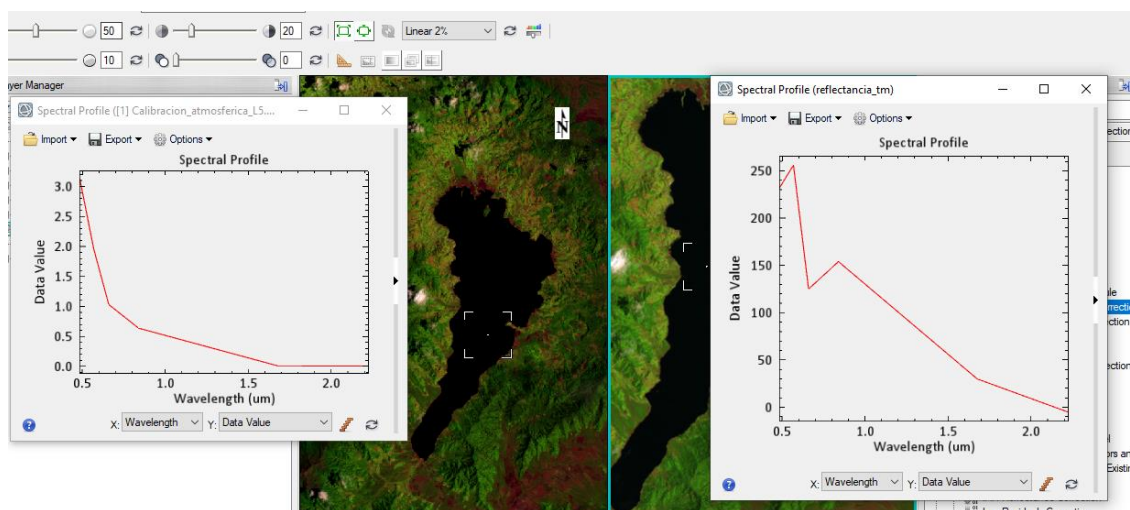
Comparación de imágenes landast antes y después de los ajustes radiométricos efectuados



Finalmente se comparan las firmas espectrales de las imágenes antes y después de efectuar los cambios radiométricos.

Figura 21

Firmas espectrales antes y después de los cambios radiométricos



4.5.3 Cálculo de valores de radiancia

Los valores digitales se convirtieron a radiancia a través de la siguiente formula, dicha conversión se realizó con el *Model Maker* de ERDAS IMAGINE.

Figura 22

Cálculo de valores de radiancia

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

L_{λ} : Radiancia espectral en la parte superior de la atmosfera (Watts/(m²*sr* μm))
 M_L :Banda específica para el factor multiplicativo de reescalamiento disponible en el archivo de metadatos como:(RADIANCE_MULT_BAND_x, donde x es el número de la banda)(figura 3).
 A_L : Banda específica para el factor aditivo de reescalamiento disponible en el archivo de metadatos como: (RADIANCE_ADD_BAND_x, donde x es el número de la banda)
 Q_{cal} : Es el nivel digital (ND) que se desea convertir

4.5.4 Cálculo de reflectancia

Finalmente, los valores de radiancia se convirtieron a reflectancia con la finalidad de tener los valores reales en la superficie terrestre (Surface reflectance) y así poder generar la clasificación de coberturas de manera más precisa.

Figura 23

Cálculo de valores de reflectancia

$$\rho_p = (\pi * L_{\lambda} * d^2) / (ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s)$$

ρ_p : Reflectancia planetaria, adimensional expresada comúnmente en porcentaje
 L_{λ} : Radiancia espectral en el sensor
 d : Distancia en Sol - Tierra en unidades astronomicas (UA)
 $ESUN_{\lambda}$: Es el promedio de irradiancia solar extraterrestre para cada banda W/(m² * μm). frecuentemente se usa el 1.367 W/(m² * μm).
 θ_s = Angulo zenital solar medido en grados, que es equivalente a $\theta_s = 90^{\circ} - \theta_e$ donde θ_e es el angulo de elevación solar.

4.6 Clasificación supervisada de imágenes

La caracterización de las coberturas presentes en las imágenes de la Laguna de la Cocha se realizó mediante una clasificación supervisada con orientación a objetos en el software eCognition. Para lo cual el primer paso fue realizar la segmentación de los elementos geográficos identificables en las imágenes a analizar.

4.6.1 Segmentación de las imágenes Landsat

La segmentación de la imagen fue realizada utilizando el método de segmentación multiescalar con la finalidad de realizar la clasificación supervisada orientada a objetos, para lo cual se utilizaron los siguientes parámetros.

Tabla 2

Parámetros de segmentación utilizados para la imagen Laguna Cocha 1986

Valor de escala		65
Radiometría		0.85
Forma	Compactación	0.5
	Lisura	0.5
Bandas	1	0
	2	0
	3	1
	4	1
	5	1
	6	0

Tabla 3*Parámetros de segmentación utilizados para la imagen Laguna Cocha 2016*

Valor de escala		65
Radiometría		0.85
Forma	Compactación	0.5
	Lisura	0.5
Bandas	1	0
	2	0
	3	1
	4	0
	5	1
	6	1

El valor de escala hace referencia a la cantidad de objetos que queremos que se generen en la segmentación. Por otro lado, los parámetros de forma (compactación y lisura) hacen referencia a las formas geométricas que se quieran identificar (a mayor compactación mayor discriminación entre formas geométricas foto identificables) y finalmente se presentan el número de bandas que tiene la imagen. Finalmente, el valor de la izquierda representa los pesos que se le darán a cada parámetro dentro de la segmentación, si el peso de radiometría es del 85% el de forma será del 15%, y para los valores radiométricos se puede escoger el peso de cada banda el cual fue determinado según el valor OIF para cada imagen.

4.6.2 Entrenamiento del modelo

Posterior a la segmentación se realizó la clasificación supervisada en el programa eCognition utilizando el método de asignación de máxima verosimilitud, sin embargo, en este caso el entrenamiento no se realizó sobre el pixel de la imagen, si no sobre los objetos geográficos generados en la segmentación. Posteriormente se realizó una revisión manual de la clasificación ajustando las coberturas mal clasificadas y se exportó en formato .TIF para cuantificar las áreas de cada una de las coberturas.

4.6.3 Leyenda utilizada para la clasificación

La leyenda que se escogió según una revisión preliminar de las posibles coberturas presentes en las imágenes analizadas fue la mostrada en la figura 24:

Figura 24

Leyenda utilizada para la clasificación de coberturas en eCognition



5. Resultados y discusión

5.1 Selección de bandas para la clasificación supervisada

Realizado el cálculo del factor de índice óptimo, se escogieron las bandas mostradas en la tabla N°4 y N°5 dado que el valor del OIF fue es más alto, es decir que son las bandas que mayor cantidad de información tienen con menos duplicidad.

Tabla 4

Valores de OIF calculados para las bandas de la imagen "Laguna Cocha 1986"

Laguna Cocha 1986			
Bandas	OIF	Bandas	OIF
123	67.7191991	124	69.5173129
125	68.109004	156	68.1308941
126	67.7425666	234	69.2877705
134	67.7681831	235	68.1142641
135	68.335997	235	67.7478091
136	67.7410162	245	69.4527451
145	69.1182812	246	69.0780819
146	69.304569	346	69.0765158
256	67.9105841	356	68.1361542
345	69.6866015	456	69.240935

Tabla 5

Valores de OIF calculados para las bandas de la imagen "Laguna Cocha 2016"

Laguna Cocha 2016			
Bandas	OIF	Bandas	OIF
123	69.0642521	146	83.9046915
124	73.4608997	156	98.014125
125	86.8709904	234	72.6993197
126	81.1780268	235	85.9439756
134	68.2515761	235	80.0333071
135	87.763926	245	87.2533584
136	81.3095745	246	81.6895063
145	90.0984815	256	93.3105775
345	89.1329703	356	96.5680843
346	82.7177385	456	94.8210556

Según lo anterior se determinó que para la imagen "Laguna Cocha 1986" se utilizaron las bandas 3,4 y 5 sustentado con valor del OIF más alto de las posibles combinaciones. Para la imagen "Laguna Cocha 2016" se utilizaron las bandas 3,5 y 5 sustentado con el valor más alto del OIF de las posibles combinaciones de las bandas presentes. Estas bandas representan la banda azul, y las bandas cercanas al infrarrojo que es donde mayores cambios se evidencian en las coberturas de tipo vegetal (Long et al., 2021).

5.2 Segmentación de las imágenes en eCognition

La segmentación realizada en el programa eCognition dio como resultado lo mostrado en las (Figuras 14 y 15):

Figura 25

Segmentación multiescalar realizada a la imagen "Laguna Cocha 1986"

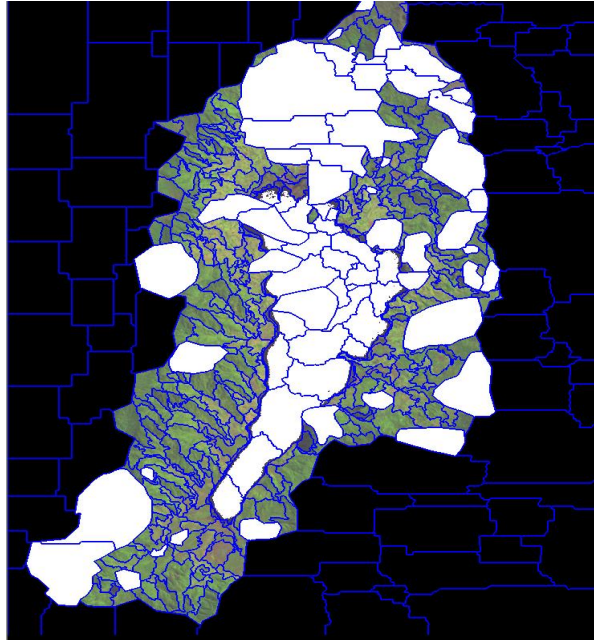
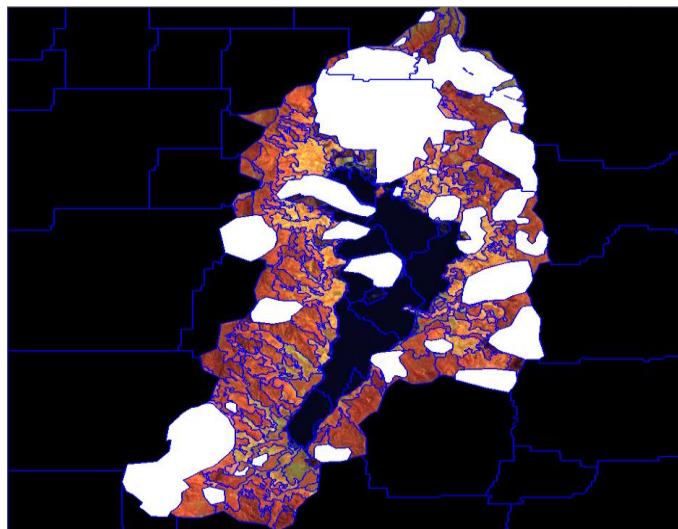


Figura 26

Segmentación multiescalar realizada a la imagen "Laguna Cocha 2016"



Como se evidencia anteriormente para las dos imágenes se generaron polígonos que según los parámetros de asignación definidos, delimitaron las posibles coberturas presentes en las imágenes teniendo en cuenta tanto la radiometría, como la forma de las coberturas presentes mejorando así significativamente el proceso de clasificación.

Dado que se le otorgó más pesos a la radiometría que a la forma, es posible distinguir en las imágenes que los polígonos generados encierran una determinada cobertura denotada por una radiometría uniforme según las firmas espectrales que tengan tanto la vegetación como el suelo desnudo o zonas urbanas.

Estos polígonos fueron generados de forma iterativa hasta que se determinó que encerraban las coberturas de forma precisa. Existen diversos estudios donde determinan las diferencias en la clasificación orientada a objetos con respecto a la orientada al pixel como el presentado por Rumiser et al. (2022) donde se encuentran diferencias en la clasificación de coberturas de hasta un 30% siendo más precisa la clasificación supervisada con orientación a objetos.

5.3 Clasificación supervisada

Los resultados de la clasificación supervisada para las imágenes de la laguna de la cocha de los años 1986 y 2016 se presentan en las figuras 27 y 28 respectivamente. Se puede evidenciar comparando los mapas generados que el suelo desnudo alrededor de la laguna aumentó en el 2016 con respecto al de 1986.

Esto corrobora lo dicho por Sotelo (2020) donde afirmó cambios de coberturas en el suelo de pastos y bosques dados los diferentes procesos antrópicos que se están generando sobre esta zona (Turismo, Ganadería, Minería).

Figura 27

Clasificación Supervisada orientada a objetos de la imagen “Laguna Cocha 1986”

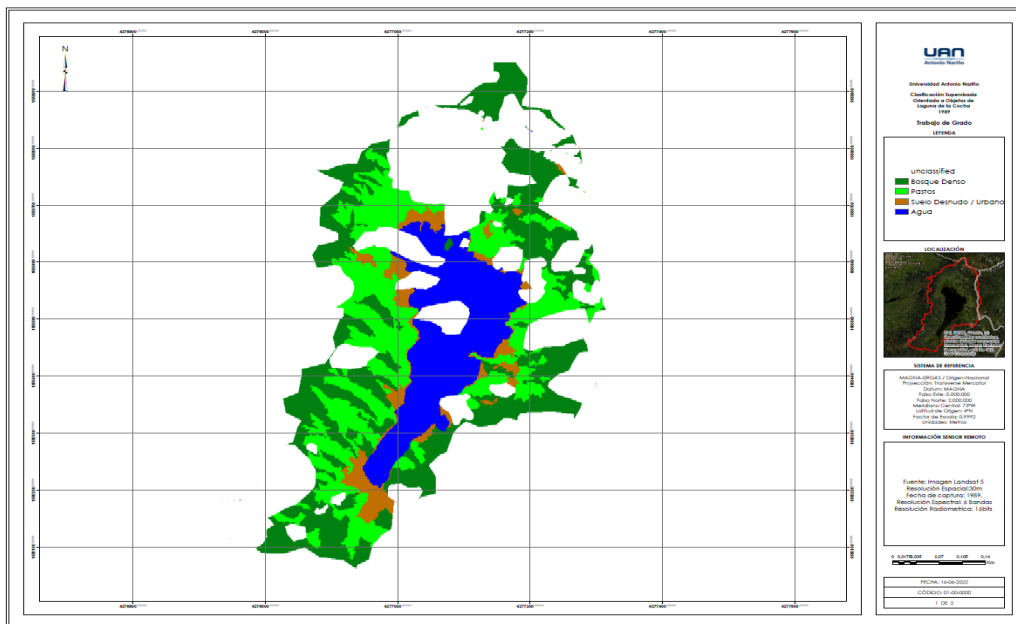
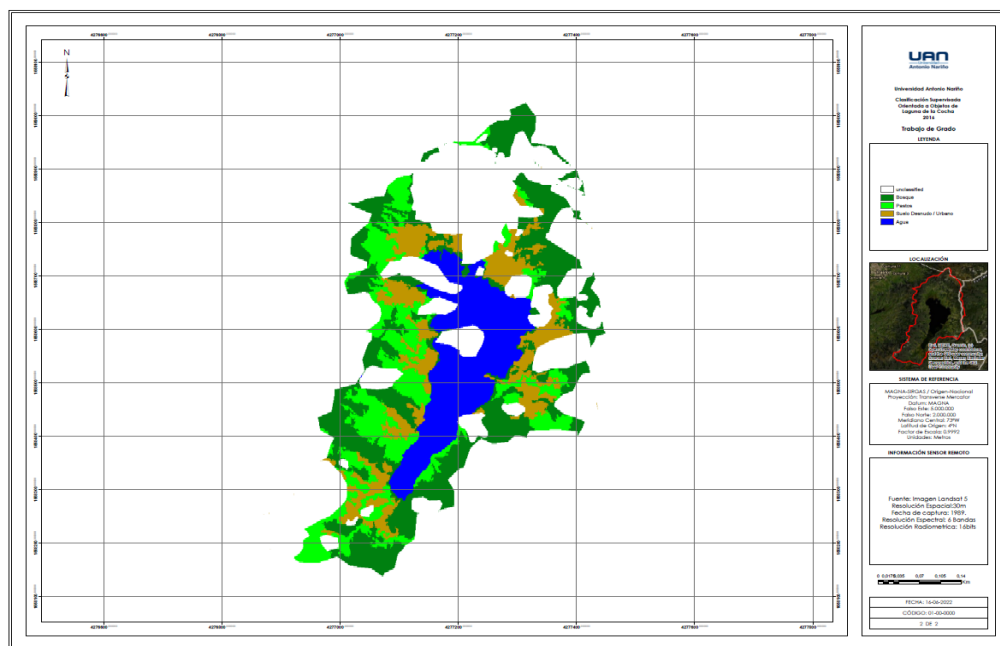


Figura 28

Clasificación Supervisada Orientada a objetos de la imagen “Laguna Cocha 2016”



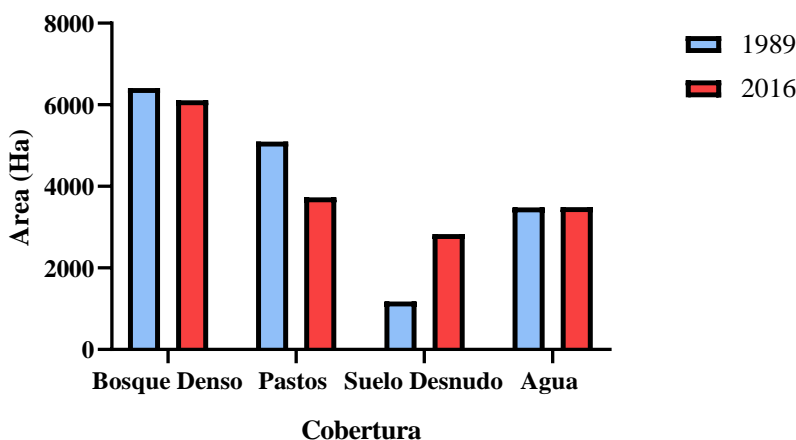
Los mapas resultantes presentados en la figura 27 y 28 evidencian un proceso de cambios de coberturas asociados al incremento de suelos desnudos / urbano, y la pérdida de pastos y bosques para los años analizados en el presente estudio. Estos resultados son similares a los encontrados por Ordoñez y Serna (2015) donde se evidenciaron cambios en las coberturas para un fin de tipo industrial, particularmente en el caso de la laguna de la cocha se evidencia que estos cambios de cobertura obedecen al establecimiento de instalaciones de tipo recreativas dado el alto índice de turismo que ha presentado la zona en los últimos años y que ha hecho a los habitantes de este sector fortalecer su infraestructura turística (Caracol Radio, 2022).

5.4 Cuantificación de las coberturas

Con los datos obtenidos se pudo realizar la cuantificación de las coberturas presentes en ambos periodos. En primera instancia se presenta la figura 29 donde se evidencia el total en hectáreas de las coberturas presentes en los años analizados.

Figura 29

Áreas de las coberturas presentes en los años analizados para la Laguna Cocha

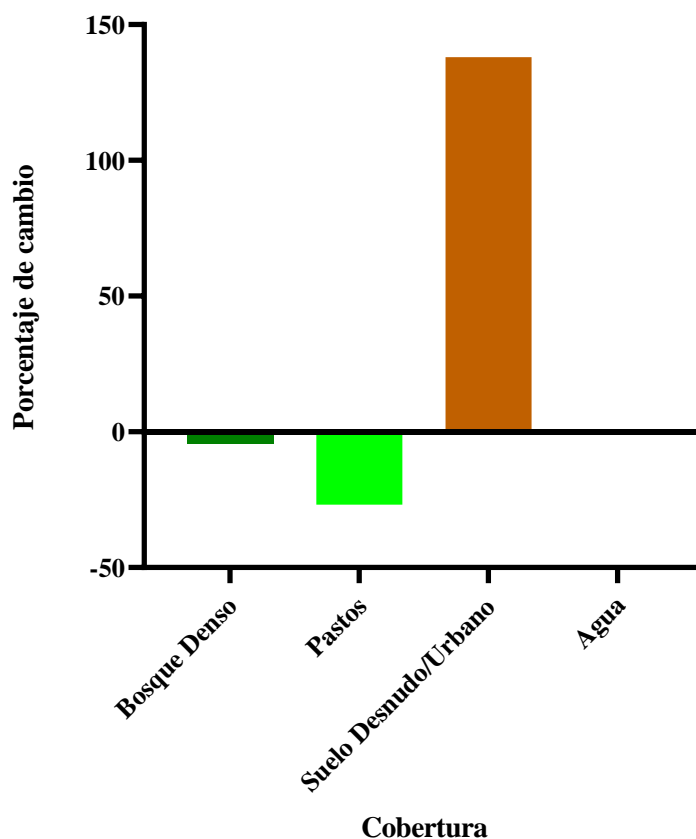


Se evidencia que las coberturas que más cambios han tenido fueron pastos, disminuyendo en casi 1367 ha y el suelo desnudo aumentando en 1655ha aproximadamente. Adicionalmente se

determinó que el bosque denso disminuyó en aproximadamente 300ha, lo que determina que no se han cumplido con las disposiciones del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en cuanto a la declaración de esta zona como Reserva Forestal Protectora (RFP).

Figura 30

Porcentajes de cambio del año 1986 al 2016 en la Laguna Cocha



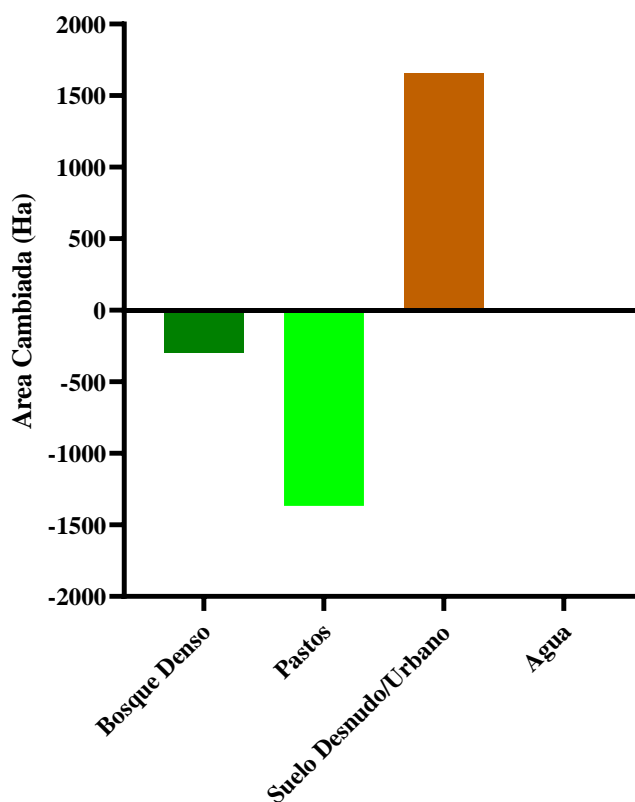
Por otro lado, en la figura 30 se muestra los cambios en porcentaje de las coberturas presentes en la Laguna de la Cocha, donde se evidencia claramente que el suelo desnudo tuvo un aumento de aproximadamente 138%. Por otro lado, la cobertura de pastos y de bosque denso tuvo un descenso de aproximadamente 26.3% y 4% respectivamente. Comparando estos resultados con los presentados en el estudio publicado por Insaurrealde (2022) se encontraron cambios en

coberturas tipo bosque para dar paso a proceso de agroindustria de 5.7% , similar a lo que ocurre en la launa de la cocha donde que si bien para los periodos analizados no es un porcentaje alto, es de considerar que esta zona está dentro de un área de protección de reserva forestal protectora nacional y no se debería realizar ninguna actividad de tala por lo que es una alerta temprana para evidenciar el deterioro inicial de la cobertura boscosa y así poder generar planes de prevención que eviten que estos bosques se sigan sustrayendo afectando así el equilibrio ecosistémico de esta zona en particular.

Finalmente completando los resultados mostrados en la gráfica 29, se muestran los cambios presentados en las coberturas a nivel de hectáreas en la gráfica 31.

Figura 31

Áreas de Cambio en las coberturas presente en Laguna Cocha



Estos resultados muestran en área la transición real que han tenido las coberturas presentes en la laguna de la cocha. Es de descartar que el espejo de agua no tuvo en su espejo de agua, esto se debe a que el espejo de agua es uno de los atractivos turísticos de la zona como fuente de ingreso las comunidades indígenas y campesinas de la zona no intervienen este lugar, adicionalmente el cuerpo de agua fue declarado como humedal RAMSAR lo que hace más restrictivo el uso de los recursos ecosistémicos que ofrece (Sotelo, 2021). Por otro lado, el suelo desnudo generado por las presiones antrópicas es similares a lo encontrado en el estudio de Rey (2021) donde en la Laguna de Tota que tiene características similares a la de la Cocha encontró un aumento en más de 1.300Km² dada la expansión urbana que ha tenido la región circundante a este cuerpo de agua.

Dado los resultados encontrados es evidente que existe una transición de coberturas de bosque denso y pastos a suelo desnudo, en el artículo emitido por García (2018) se expone la problemática que tiene la Laguna de la Cocha por la minería ilegal de carbón en sus alrededores para el abastecimiento de cocinas de carbón y producción industrial de pasto que sustentan el cambio de coberturas evidenciado en el presente estudio. Si bien la declaratoria DA-MN-07 de CORPONARIÑO (2017) define que las actividades mineras, así como la tala ilegal, es evidente que no se están cumpliendo estas directrices y no se está acatando la declaratoria como zona de reserva forestal lo que genera con la tendencia encontrada que la cobertura boscosa se transforme en el largo plazo en suelo desnudo, dejando graves impactos socio-ambientales a las comunidades indígenas y campesinas que subsisten de la laguna y sus alrededores.

Conclusiones

Se determino con el análisis multitemporal que existe un cambio en las coberturas presenten en la Laguna de La Cocha, siendo el suelo desnudo el que mayor transición tuvo, aumentando en 138% en los años analizados (1986-2016).

Se encontró que las coberturas de pasto y bosque tuvieron una disminución en los años analizados, principalmente fundamentado en la presión antrópica generada por minería y ampliación de la zona urbana para fines turísticos.

La lámina de agua no tuvo variación en los años analizados, esto se fundamenta en las restricciones que tiene este cuerpo de agua para utilizar sus servicios ecosistémicos al ser una zona de protección tipo RAMSAR.

Referencias bibliográficas

- Al-Doski, J., Mansor, S., & Zulhaidi, H. (2013). Image Classification in Remote Sensing. *Journal of Environment and Earth Science*, 3(10), 141-147.
<https://core.ac.uk/download/pdf/234663192.pdf>
- Cabrera, W. (1970). La Cocha: Un lago andino en el sur de Colombia. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia*, 27(101), 1-13.
https://www.sogeocol.edu.co/documentos/la_cocha.pdf
- Caracol Radio. (2022). *Veredas alrededor de “La Cocha” atractivos turísticos para conocer*.
https://caracol.com.co/programa/2021/01/30/el_sabor_de_colombia/1611972595_376101.html
- Chilagane, N., Kashaigili, J., & Mutayoba, E. (2020). Historical and Future Spatial and Temporal Changes in Land Use and Land Cover in the Little Ruaha River Catchment, Tanzania. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(2), 76-96.
<https://doi.org/10.4236/gep.2020.82006>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid España: RIALP S.A.
- CORPONARIÑO. (2017). *Plan de gestión ambiental regional del Departamento de Nariño 2016-2036*. <https://corponarino.gov.co/wp-content/uploads/2016/11/PGAR-2016-2036-VF.pdf>
- Decreto 2811 de 1974. (1974, 18 de diciembre). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diario Oficial No 34.243: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Decreto-2811-de-1974.pdf>
- ERDAS. (2017). *ERDAS Imagine, módulos y funcionalidades*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2017, de http://www.erdas.com.ar/productos_imagine.htm

ESRI. (2017). *The Science of where*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2017, de

<http://www.esri.es/>

ESRI. (2022). *ArcGis. Plataforma de representación cartográfica y análisis*.

<https://www.esri.co/es-co/productos/arcgis/inicio>

García, A. (2021). *Landsat. Sistemas de Comunicación Vía Satélite*: <https://bit.ly/3X4foMn>

García, I. (2018). *El carboneo, la problemática ambiental que está atacando la Laguna de La*

Cocha. Radio Nacional de Colombia: <https://bit.ly/3l8mjH1>

GLCF. (2016). *Data & Products*. (University of Maryland) Recuperado el 4 de Septiembre de

2017, de Global Land Cover Facility: <http://glcf.umd.edu/data/>

Guzman, J., & Flores, C. (2019). Fragmentación del paisaje empleando análisis multitemporal de

imágenes de satélite Landsat TM y ETM+ en el municipio de Montelíbano, Córdoba-

Colombia. *Gestión y Ambiente*, 22(1), 31-41. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n1.76116>

Hay, G., & Castilla, G. (2008). Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new

name for a new discipline. En T. Blaschke, S. Lang, & G. Hay, *Object-Based Image*

Analysis. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (págs. 75–89). Calagary:

Springer.

IDEAM. (2012). *Ecosistemas e información ambiental*. <https://bit.ly/3DFsybP>

IDEAM. (2022). *Monitoreo de suelos y cobertura de tierras*.

<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-nacionales>

IDEAM. (s,f). *Protocolo de procesamiento Digital*.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022977/ProtocoloProcesamiento>

Digital2.pdf

IGAC. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. Bogotá: IGAC.

- INEGI. (1999). *Aspectos técnicos de las imágenes Landsat*. Recuperado el 19 de Octubre de 2017, de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/doc/aspectos_tecnicos_de_imagenes_landsat.pdf.
- INPE. (2017). *Image Catalog*. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) Recuperado el 7 de Octubre de 2017, de <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>
- Insaurralde, J. (2012). Estudio de la evolución de las coberturas espaciales en el suroeste de la provincia del Chaco, entre 1989 y 2010 mediante la teledetección. *Revista Universitaria de Geografía*, 21(1), 31-57. <http://www.scielo.org.ar/pdf/reuge/v21n1/v21n1a03.pdf>
- Javier, M. (2014). *Multiespectrales, Satelitales*. Multiespectrales.
- Long, Y., Rivard, B., Azofeifa, A., Greiner, R., Harrison, D., & Jia, S. (2021). Identification of spectral features in the longwave infrared (LWIR) spectra of leaves for the discrimination of tropical dry forest tree species. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 94, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102286>
- Martinez, J. (2010). *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente*. Red Nacional de Teledetección Ambiental.
- Martínez, N., & Murcia, U. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Bogota: IDEAM.
- Mendoza, M., López, E., Geneletti, D., Pérez, D., & Salinas, V. (2010). Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico. *Applied Geography*, 31(1), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>

- Natural Resources Canada. (2015). *Fundamentals of remote sensing*. Canada Centre for Remote Sensing:
https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundamentals_e.pdf
- OECD. (2018). *Monitoring Land Cover Change*. <https://bit.ly/3JYUN9x>
- Ordoñez, E., & Serna, J. (2015). *Análisis superficial y multitemporal de imágenes landsat 7 ETM+ y landsat 8 OLI TIRS en el proyecto carbonífero la luna entre los años 2001 y 2015*. [Tesis de especialización, Universidad de Manizales] Ridum Umanizales:
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2523>
- Ponce, B. (2010). *Detección y análisis del cambio de uso de suelo en la zona centro - norte de la provincia de Capitán Prat, XI Región período 1984 - 2003*. Instituto Forestal de Chile:
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3156803>
- Pulido, C. (2021). *Estudio multitemporal del cambio de cobertura y usos del suelo a través de un análisis de imágenes satelitales en el Bajo Cauca Antioqueño*. [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle] Ciencia Lasalle:
https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1952/
- Reuter, F. (2009). *Principios de Teledetección*. Buenos Aires: Facultad de ciencias forestales - Universidad Nacional de Santiago Estero.
- Rey, D. (2021). *Análisis multitemporal del área correspondiente a la laguna de tota para el periodo 1989-2019*. [Tesis de especialización, Universidad Antonio Nariño] Repositorio UAN: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2174?mode=full>
- Rumiser, B., Nolan, J., Sharma, Z., & Miller, J. (2022). *eCognition Segmentation and Supervised Classification*. University of Georgia:

<http://faculty.ung.edu/zmiller/4350k/labs/ecognitionsegmentationandsupervisedclassification.html>

Sari, I., Wetson, C. N., & Volkova, L. (2022). Using Bayesian multitemporal classification to monitor tropical forest cover changes in Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 2061-2077. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2146219>

Soldano, Á. (2009). *Teledetección aplicada a la reducción del riesgo por inundaciones*. (C. Y. DDS, Editor) Recuperado el 10 de noviembre de 2017, de CONAE, OEA/DSS: <http://rimd.org/advf/documentos/4922edde159e6.pdf>

Sotelo, A. (2021). El Contexto que se crea en las Lagunas La Cocha y Tota. *Comunicación y Hombre*, 17, 297 - 310. <https://doi.org/10.32466/eufv-cyh.2021.17.638.297-310>

Trimble. (2022). *¿Qué es eCognition?* <https://es-la.geospatial.trimble.com/what-is-ecognition>

USGS. (2017). *Earth Explorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

USGS. (2017). *LandsatLook*. <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>

Viloria de la Hoz, J. (2007). *Economía del Departamento de Nariño: ruralidad y aislamiento geográfico*. Banco de la República : https://repositorio.banrep.gov.co/bitstream/handle/20.500.12134/3013/dtser_87.pdf

WWF. (2022). *Aumento de la deforestación en Colombia en 2022 exige acciones urgentes*. <https://bit.ly/40vnws1>