

# **Estudio Multitemporal para la Detección de Cambios Físicos en las Coberturas Vegetales y en el Cauce principal, Producidos por la Construcción de la Central Hidroeléctrica el Quimbo**



**Presentado Por:**  
**Cristian Camilo Fonseca Baquero**  
**Ingeniero Topográfico**  
**3101408**

**Artículo presentado como requisito para obtener  
el título de Especialista en Geomática**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS  
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
BOGOTÁ  
JUNIO DE 2018**

# Estudio Multitemporal para la Detección de Cambios Físicos en las Coberturas Vegetales y en el Cauce principal, Producidos por la Construcción de la Central Hidroeléctrica el Quimbo

Fonseca Baquero Cristian Camilo, Ingeniero Topográfico

**Resumen:** el presente artículo presenta un análisis Multitemporal que tiene como objeto determinar los cambios producidos en las coberturas vegetales y en el cauce del río Magdalena que se encuentran cerca de la Central Hidroeléctrica el Quimbo localizada al sur del departamento de Huila, para esto se aplicara los índices de cobertura NDVI y NDWI en imágenes Landsat de los años 2000 y 2018, permitiendo generar unas áreas por cobertura y calcular las diferencias entre los años de estudio.

**Palabras Clave:** Detección de cambios, imágenes Landsat, Sensores Remotos, Embalses, Índices Normalizados

## I. INTRODUCCIÓN

La utilización de los recursos hídricos por medio de embalses o presas ha sido motivada para distintos propósitos que permiten solventar necesidades en los países, entre sus principales funciones se encuentran el abastecimiento de agua y la generación de energía eléctrica (López Alonso, Pons Puy, & J. Batalla, 2004). Para el caso de Colombia como lo define (Palacios Sierra, 2013) la gran mayoría de presas que se encuentran dentro del territorio, están dedicadas a la producción de energía eléctrica y suministro de agua potable, lo que muestra la importancia de dichos proyectos en el desarrollo del país; es así como en la necesidad de generar electricidad se vale de los principales ríos existentes sin que en este proceso sea necesario la quema de hidrocarburos o utilización de combustible nuclear (Maza Álvarez, 2004), otra ventaja es que aunque se utilice el agua para generación de energía, esta no va ser consumida en grandes cantidades, quedando disponible una vez sea utilizada, aguas abajo de la presa. Para el caso de nuestro país la mayor generación de energía eléctrica es producida por los recursos hídricos. Iglesias (2011) citado por (Peña Olarte & Sánchez Mojica, 2016) menciona que, se puede afirmar que el país puede seguir utilizando este recurso para fines de aprovisionamiento de energías a las comunidades por un largo tiempo.

Sin embargo las afectaciones por la construcción de estas obras civiles son numerosas, como lo manifiesta (Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente

(AIDA), 2009) quien cita a la Comisión Mundial de Represas (CMR) cuando menciona que la implementación de estas obras de ingeniería produce una serie de impactos violentos y en muchos casos, han conducido a la pérdida irreversible de especies y ecosistema; asimismo las afectaciones producidas por su construcción como la disminución de cobertura vegetal y deformación en la morfología del cauce se presentan de forma permanente una vez dichas estructuras empiecen a funcionar de manera continua.

Es así como se plantea realizar un estudio Multitemporal para la detección de cambios físicos producidos en las coberturas terrestres debido a la construcción de la central Hidroeléctrica el Quimbo localizado en el departamento de Huila, Colombia, en la cuenca alta del río Magdalena entre los municipios de Garzón, Paicol, Gigante, El agrado, Tesalia y Altamira, esto se realizará a partir de la aplicación de índices de cobertura NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y NDWI (Normalized Difference Water Index) en 2 Imágenes Satelitales las cuales corresponden, la primera a Landsat 7 del año 2000 y la segunda Landsat 8 del año 2018 en donde se identificara los cambios en las coberturas vegetales y en la morfología del cauce, que permitirá evidenciar de manera espacial los cambios ocurridos en la zona de influencia de la obra.

## II. LA RELACIÓN ENTRE EMBALSES, PRESAS Y TELEDETECCIÓN

La construcción de una obra de ingeniería capaz de retener una gran cantidad de agua del lecho de un río de manera artificial, comúnmente es denominada como presa o embalse y entre sus principales servicios esta, por un lado, abastecer una población con agua potable para su consumo, para servicios generales e industriales y por otro cumplir con la función de generar energía eléctrica, además de servir como control de inundaciones y suministro para riego (Maza Álvarez, 2004). Si bien sus contribuciones tienen un impacto positivo en el desarrollo de una sociedad, cabe señalar que, en el proceso y ejecución de dichas construcciones, estas traen efectos negativos de tipo ambiental; en donde se permite identificar cambios sobre los ecosistemas, la biodiversidad, en las condiciones presentadas en el cauce del

rio; aunque pueden presentarse afectaciones tanto en la fauna, la temperatura y la composición química, las principales alteraciones y efectos se pueden caracterizar en tres tipos: cambios en el régimen hidrológico, en la morfología fluvial y en la carga de sedimentos (López Alonso, Pons Puy, & J. Batalla, 2004, pág. 2).

Por lo anterior, Si se caracteriza los efectos y alteraciones producidas por la instalación de una presa se podría referir a dos clases: I. las producidas aguas arriba. II. Producidas aguas abajo; en el primero se produce una acumulación de sedimentos y disminución de pendiente por la acumulación de agua, en el segundo se produce alteración del régimen natural del caudal, bajo transporte de sedimentos, que afecta el ancho del cauce (ensanchamiento o estrechamiento). (García Ruiz & Puigdefabregas Tomas, 1985).

Es en este punto donde las técnicas de teledetección sirven como herramienta de análisis de los distintos cambios ocurridos en la superficie terrestre de manera puntual, permitiendo detectar afectaciones producidas por la construcción de estas obras de ingeniería, el creciente énfasis de estas aplicaciones en el estudio del medio ambiente está directamente relacionado con la dimensión temporal, puesto que para evaluar, prevenir y mitigar estos impactos se debe realizar seguimiento de manera continua (Chuvieco, 1998), dicho en otras palabras se evidencia la importancia de los estudios multitemporales para determinar los cambios que se producen en los cuerpos de agua, identificando además, cambios en las coberturas vegetales, en el suelo antes y después de la construcción de los embalses y presas; es aquí donde la Geomática toma un papel trascendental para la toma de decisiones que permitan disminuir los impactos que se producen en el medio ambiente, y donde la información cuantitativa y cualitativa producida a partir de dichos estudios sirven como instrumento para modelar los procesos hidrológicos (Sánchez Martin, 2009) ocurridos en nuestro país.

### III. ANTECEDENTES

A continuación se describe una serie de estudios que tienen como función brindar el soporte teórico para realización de este trabajo, clasificando en cuatro componentes la literatura consultada, que permite abordar la información de manera clara y organizada:

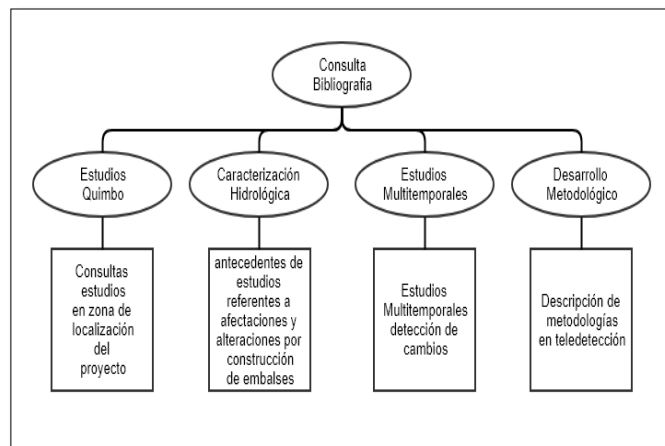


Fig. 1. Esquema de consulta bibliográfica

#### A. *Estudios Quimbo*

En la bibliografía consultada se permite identificar claramente la zona de estudio, de igual forma conocer si en dicha zona se han realizado estudios específicos que permitan analizar el cambio de coberturas y la forma del cauce a partir de teledetección, es así como se llega al estudio denominado “Interpretación de Coberturas de la Tierra y Análisis Multitemporal Para el Área de Compensación Ambiental Del Proyecto Hidroeléctrico del Quimbo” (Matoma Cardona & Cañas Torres, 2017) en el cual se evalúa la dinámica del paisaje para procesos de restauración ecológica a partir de interpretación de coberturas de la tierra en dos temporalidades del área de compensación ambiental de la Central Hidroeléctrica el Quimbo, entre sus resultados permiten identificar un cambio de 35 coberturas para el año 2008 y de 32 para el año 2013, además recomiendan que para un adecuado análisis de cambio de coberturas se debe trabajar con imágenes Spot. Por otro lado, en el estudio “Transformación del Bosque Seco Tropical y del Servicio Ecosistémico de Apoyo Hábitat Para Especies en los Municipios Pertenecientes a la Jurisdicción de la Hidroeléctrica el Quimbo (Huila, Colombia) Durante Los Años 2000 Y 2016”. (Mina Galeano & Palecia Rivera, 2017). Se identifica las coberturas en el sector del quimbo según metodología Corine Land Cover utilizando imágenes de satélite 5, 7 y 8 para los años 2007, 2000 y 2016 permitiendo concluir que a partir de la construcción de proyectos hidroeléctricos se evidencian consecuencias ecológicas, alteración y deterioro de hábitats, ocasionando pérdida y obstrucción de corredores ambientales que conforman los ecosistemas presentes en el área de estudio.

#### B. *Caracterización Hidrológica*

Para identificar las problemáticas producidas por la construcción de obras civiles en tramos fluviales se debe realizar una búsqueda de documentos que permita conocer

más a fondo las implicaciones que tienen estos proyectos y su impacto en el medio ambiente.

En el artículo de (López Alonso, Pons Puy, & J. Batalla, 2004) se identifican los efectos hidrogeomorfológicos aguas abajo de embalses, clasificando estas alteraciones en tres tipos: producidas en el régimen hidrológico, en el transporte de sedimentos y la morfología del cauce. Por otra parte, en el artículo “La Necesidad de Construir Presas” (Maza Álvarez, 2004), se describen algunas ventajas y desventajas producidas por estas obras, haciendo un especial énfasis en que aunque dichas obras se requieren en el desarrollo de cualquier país, con ello, también trae graves consecuencia de tipo ambiental, social, económico y arqueológico, concluye que, reconocer los impactos negativos de las presas o embalses es el primer paso para que en próximos proyectos se pueda reducir o evitar gran parte de las problemáticas.

Para (Peña Olarte & Sánchez Mojica, 2016) en “Determinación de las Afectaciones por Inundaciones Aguas Abajo de la Represa de Betania a Partir de 1987 Mediante la Implementación de Indicadores de Seguimiento”. Recomiendan que para el análisis de afectaciones aguas abajo de los embalses se realice caracterización de indicadores que muestren a través del tiempo el comportamiento y alteraciones en los cambios del caudal, en los fenómenos de sequía y cambios en el medio biótico y abiótico, que entendido de otra forma podría referirse a estudios multitemporales para la identificación de estas problemáticas.

Como se observa son variados los estudios e informes realizados con el objetivo de analizar los cuerpos de agua y su cambio con respecto a las obras civiles construidas dentro de estos, con un principal interés en la creciente influencia de las actividades humanas en los cambios del régimen hidrológico, en los aportes sedimentarios y modelo del cauce (García Ruiz & Puigdefabregas Tomas, 1985, pág. 1). Se han encontrado grandes impactos ambientales como el empeoramiento de la calidad de las aguas, degradación de los ecosistemas, impactos a la biodiversidad, además de impactos en el cambio climático (Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA), 2009, pág. 7). Por lo anterior nos permite justificar la importancia de los estudios del medio ambiente por medio de herramientas de teledetección y como por medio de estos podemos abordar problemáticas desde otro punto de vista, utilizando distintas herramientas que permitan analizar y entender las alteraciones producidas por el hombre en los.

### ***C. Estudios multitemporales***

Para entender la importancia de los estudios multitemporales como instrumento para analizar y comprender mejor las alteraciones en el medio ambiente, se hace recurrente realizar una recopilación de estudios enfocados a la utilización de dichas herramientas, aplicadas

a cuerpos de agua, suelo o cambio de coberturas, que permita mostrar los resultados y la calidad de la detección de cambios por medio de sensores remotos.

En el estudio Análisis Multitemporal de Cambios de Uso del Suelo y Coberturas, en la Microcuenca las Minas, Corregimiento de la Laguna, Municipio de Pasto, Departamento De Nariño, permitió observar una pérdida del recurso natural bosque secundario por medio de procesos cartográficos como la fotointerpretación y tratamiento de imágenes satelitales, donde se concluyó que el análisis Multitemporal es una herramienta para monitorear los cambios en el uso del suelo y en la cobertura boscosa través de tiempo y espacio (Muñoz Guerrero, Rodríguez Montenegro, & Romero Hernandez, 2009). En México se realizó un estudio Multitemporal con imágenes Landsat MSS de 1973, 1986 y 1992 para detectar cambios en el paisaje asociado a humedales costeros, lo que permitió darles seguimiento a variables ambientales relacionadas con la dinámica y uso de la zona costera en diferentes intervalos de tiempo y espacio por medio de técnicas de percepción remota (Berlanga Robles & Ruiz Luna). Como lo menciona (Aldana Otálora & Chindicue Garzón, s/f) en Análisis Multitemporal Humedales Tierra Blanca y Neuta Municipio de Soacha Sector Compartir se hace necesario realizar estudios para evaluar los cambios sufridos en el ecosistema para poder emprender acciones que permitan devolver las características iniciales de la zona de estudio, esto con ayuda de herramientas de teledetección.

Para el municipio de San Jacinto, Bolívar se realiza un análisis Multitemporal a partir de sensores remotos (Ramírez Zapata, 2015) y para la laguna de Sonso en el departamento del Valle del Cauca se realiza un análisis Multitemporal del cuerpo de agua de la laguna el sonso mediante imágenes satelitales Landsat (Castañeda Mora, 2014), en ambos casos se refleja la importancia de estas técnicas para el análisis de coberturas, y como, a partir de ellas se logra identificar cambios en la cobertura del suelo y en cuerpos de agua, teniendo en cuenta las distintas correcciones que se le deben aplicar a las imágenes de satélite. Otra aplicación es la detección de cambios en las coberturas de las minas a cielo abierto, donde la teledetección se convierte en una alternativa viable para el análisis de cambios en las coberturas vegetales, determinando el crecimiento de la infraestructura de las minas y el estado de los cuerpos de agua (Gordillo Sanchez, 2015, pág. 2).

Como se observa la aplicación de las técnicas de teledetección abarcan múltiples propósitos, permitiendo entender los cambios producidos en la superficie terrestre desde una visión general, ayudado de herramientas de delimitación y clasificación, las cuales determinan cambios en las coberturas afectadas por los distintos fenómenos de tipo natural o por la intervención antrópica.

#### D. Desarrollo Metodológico

El objetivo de búsqueda de bibliografía enfocada hacia los procesos que se deben utilizar para un estudio Multitemporal por medio de imágenes satelitales permite determinar cuáles herramientas, procesos, tareas y metodologías son las indicadas para realizar dicho estudio, observando que para cada aplicación y según sea el objeto a evaluar en cada investigación, se puede variar el proceso para la obtención de resultados; se encuentran como técnicas principales, sobre posición de imágenes, diferencia entre imágenes y análisis de componentes principales (Riaño M., 2002). Para determinar cambios en una zona específica se recomienda tener imágenes multiespectrales de diferentes fechas y preferiblemente que sean del mismo sensor, que presenten características similares en cuanto a resolución espacial y radiométrica (Ramos Galvis, 2017). Dentro de dicha bibliografía cabe resaltar los aportes del autor Emilo Chuvieco Salinero, que con sus múltiples estudios aplicados al análisis y caracterización del medio ambiente por medio de los sensores remotos permiten ser una herramienta primordial en cualquier estudio Multitemporal, ya que cuenta con todo el soporte teórico y práctico que se requiere para utilización de estas técnicas.

### IV. RECURSOS Y PROCEDIMIENTOS

#### A. Recursos

- Imágenes multiespectrales del sensor Landsat correspondientes a 2 épocas distintas, descargadas de U.S. Geological Survey (USGS).(ver tabla 1).
- Cartografía base y capas geográficas en formato digital del departamento de Huila descargadas del Geoportel Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)

TABLA I  
IMAGENES MULTIESPECTRALES

Sensor	Fecha de captura	Resolución	Path	Row
Landsat 7	30 Ago. 2000	30 m	8	58
Landsat 8	17 Mar 2018	30 m	8	58

- Programas de procesamiento digital de imágenes: PCI GEOMATICS versión 2016 Y ERDAS IMAGEN versión 2014
- Programas para análisis y edición de información espacial y generación de salidas graficas: ARCGIS Desktop versión 10.4.1 y QGIS Desktop versión 2.18.17

#### B. Procedimientos

A continuación se muestra el diagrama de flujo de los procedimientos y metodologías aplicadas en este estudio para la detección de cambios.

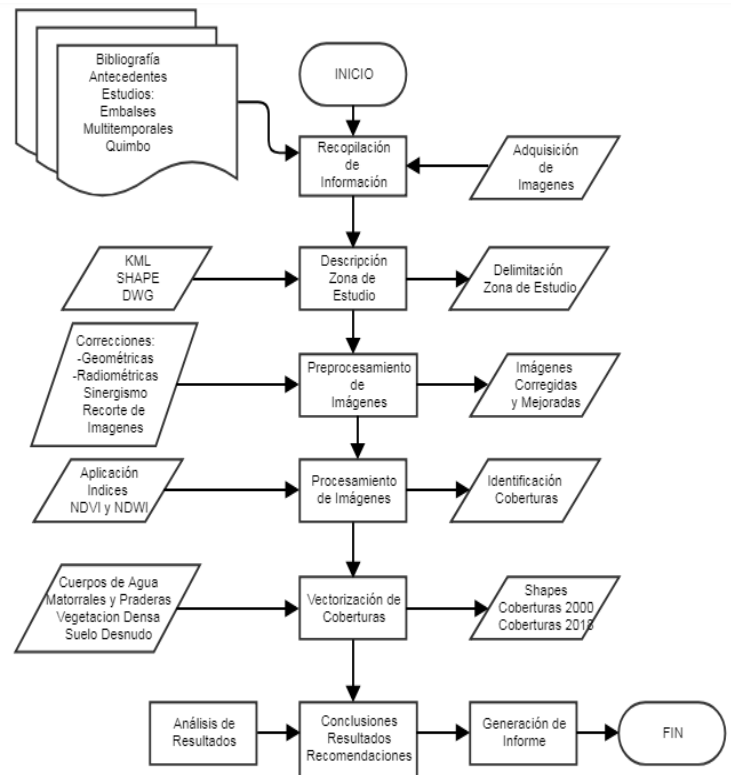


Fig. 2. Diagrama de flujo de trabajo

##### 1. Recopilación de información

La recopilación de información se divide en dos etapas, la primera referida a la recopilación de bibliografía concerniente a antecedentes en temas de estudios ambientales y estudios multitemporales realizados en el sector Quimbo y por otro lado Estudios hidrológicos y documentos técnicos de teledetección.

En segunda instancia se procedió a la búsqueda y adquisición de las imágenes satelitales a tratar para este estudio, para eso se preseleccionaron imágenes de diferentes épocas referidas al sector de interés. luego se realizó un filtro donde se identificó de manera visual las dos imágenes más idóneas y las cuales tuvieron los menos defectos posibles tales como alta nubosidad, bandeamientos, neblina u otro aspecto que impidiera la identificación de las coberturas a analizar. En la tabla 2 se muestra las imágenes preseleccionadas y los parámetros que se tuvieron en cuenta para la selección de las dos imágenes definitivas.

TABLA II  
PRESELECCION IMAGENES MULTIESPECTRALES

Sensor	Fecha de captura	Resolución	Path	Row	Observación
Landsat 7	14 Ago. 2000	30 m	8	58	Nubosidad en Zona de Estudio
Landsat 7	30 Ago. 2000	30 m	8	58	OK
Landsat 7	15 Sep. 2008	30 m	8	58	Bandeamiento
Landsat 5	22 Ene 2010	30 m	8	58	Nubosidad en Zona de Estudio
Landsat 8	22 Nov 216	30 m	8	58	Nubosidad Mayor a 40%
Landsat 7	09 Mar 2018	30 m	8	58	Bandeamiento
Landsat 8	17 Mar 2018	30 m	8	58	OK

Se identifican las 2 imágenes con menos defectos para el análisis, las cuales corresponden a las que en la columna observación se describen como “OK”

La información analizada en la etapa 1 se ve reflejada en el título II de este documento denominado ANTECEDENTES y la etapa 2 se describe en el título IV RECURSOS.

Para casos prácticos del ejercicio de definirá la imagen satelital de Landsat sin procesar del 7 del 30 de agosto de 2000 como “L7” y la imagen satelital Landsat 8 sin procesar del 17 de marzo del año 2018 como “L8”

## 2. Descripción de la Zona de Estudio

La central Hidroeléctrica el Quimbo es una planta generadora de energía propiedad de EMGESA, ubicada al sur del departamento de Huila, Colombia en la cuenca alta del río Magdalena entre los municipios de Garzón, Paicol, Gigante, El agrado, Tesalia y Altamira, utiliza la fuerza del agua de los ríos Suaza y Magdalena para generar una media de 2.216 Gwh/año lo cual permite abastecer en promedio a un 4% de la demanda energética de Colombia<sup>1</sup>.

A partir de una delimitación de la zona de estudio por medio de polígonos en formato Shapefile y Kml se logra detallar el lugar donde se realizará la detección de cambio, esto permite especificar los sectores donde puedan existir los cambios en la cobertura vegetal y en los cuerpos de agua.

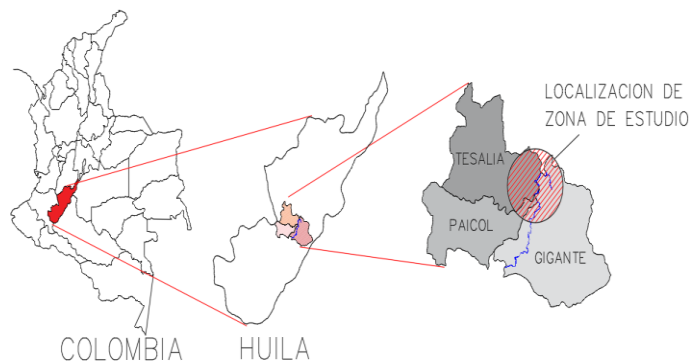


Fig. 3. Localización General de Central Hidroeléctrica Quimbo

## 3. Pre-Procesamiento de Imágenes

En el Pre-Procesamiento se identifica las correcciones que se realizan en imágenes satelitales, las cuales son: corrección Geométrica y corrección Radiométrica.

En la primera se verifica si las 2 imágenes se ajustan entre sí con un alto nivel de detalle, identificando puntos en común y verificando que no se presenten desplazamientos entre los detalles observados en cada imagen; para este caso como se observa en la figura 4 y la figura 5 las dos imágenes no presentan desplazamientos considerables que determinen que se deba realizar una rectificación entre estas. En tal caso que fuera distinto se debería transformar las coordenadas de los pixeles de alguna de las 2 imágenes con referencia a la otra, para que coincidan en todos sus detalles de manera geométrica

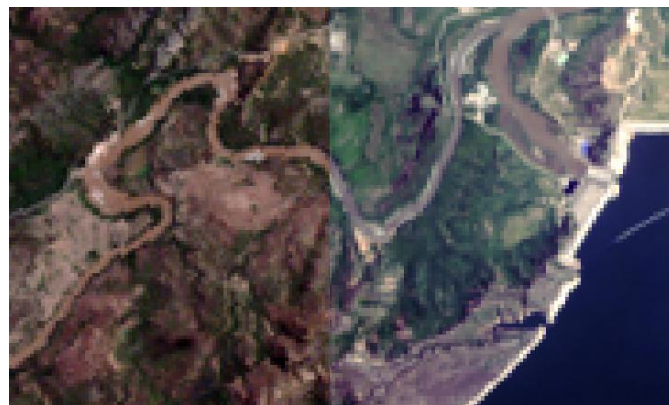


Fig. 4 análisis Geométrico, Inspección visual: la parte izquierda corresponde a un segmento del río Páez localizado en la imagen L7 y en la parte derecha se observa la continuidad de dicho río desde la imagen L8, se evidencia que no se encuentran diferencias considerables en los puntos homogéneos, este análisis se realiza visualmente.

<sup>1</sup> Información extraída de la página oficial de la empresa Emgesa



Fig. 5 análisis Geométrico, inspección visual, la parte superior corresponde a un segmento del río Magdalena localizado en la imagen L7 y en la parte inferior se observa la continuidad de dicho río en la imagen L8, al igual que en la figura 4 no se encuentran grandes diferencias en sus puntos homogéneos.

Posterior a esto se realiza la corrección Radiométrica, la cual se debe realizar de manera casi obligatoria a la hora de trabajar con imágenes satelitales, esto debido a que, por aspectos de calibración del sensor y las condiciones atmosféricas, se producen unas variaciones en los niveles digitales reales de cada imagen. Para esto se trabaja desde el programa Pci Geomática el cual permite desde el menú Análisis, utilizar la herramienta ATCOR, la cual por medio de flujos de trabajo corrige la reflectancia arriba de la atmosfera (TOA), Eliminación de neblina (HAZEMOVE), máscaras de agua (CLOUD MASK) y realizar correcciones topográficas por medio de modelos digitales del terreno (DEM), entre otros. En la figura 6 se puede observar las correcciones para la imagen L7 y en la figura 7 se muestra las correcciones hechas en la imagen L8.

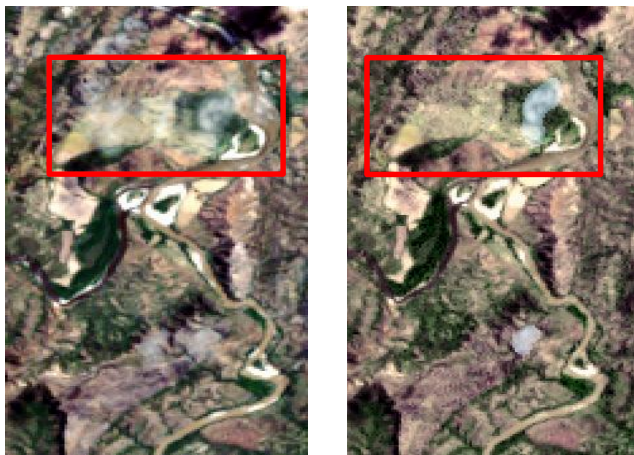


Fig. 6 Corrección atmosférica. La imagen izquierda corresponde a la denominada L7, la imagen derecha corresponde a la imagen corregida L7\_ATCOR, se puede observar la disminución de neblina en la parte superior



Fig. 7 Corrección atmosférica. La imagen izquierda corresponde a la denominada L8, la imagen derecha corresponde a la imagen corregida L8\_ATCOR. Se observa como disminuye el factor de neblina en la parte superior izquierda de la imagen

Para ambas imágenes se realiza corrección atmosférica tanto a las bandas multiespectrales como a las bandas pancromáticas, esto en función de poder realizar una fusión o pansharpening, cabe recordar que las imágenes Landsat contienen una banda 8 la cual es pancromática y tiene una resolución espacial de 15 metros esto permite mejorar la resolución espacial de 30 metros a 15 metros.

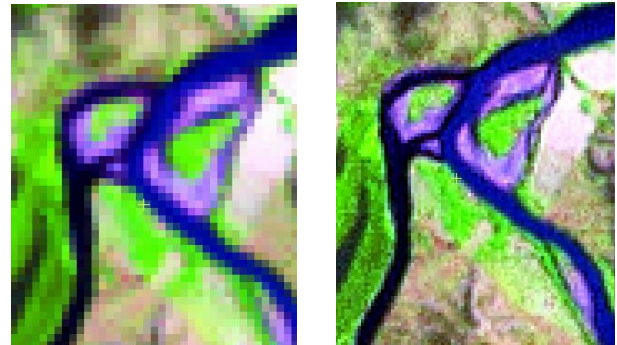


Fig. 8 Fusión o pansharpening. La imagen izquierda L7\_ATCOR con una resolución espacial de 30 metros, la imagen derecha corresponde a la fusión de las bandas multiespectrales con la banda pancromática corregida, esta se denominó como L7\_ATCOR\_F, ambas imágenes tienen una composición de color 543 (RGB)

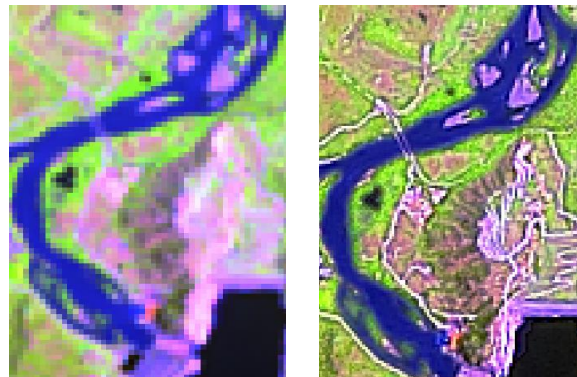


Fig. 9 Fusión o pansharpening. La imagen izquierda L8\_ATCOR con una resolución espacial de 30 metros, la imagen derecha corresponde a la fusión de las bandas multiespectrales con la banda pancromática corregida, esta se denomina como L8\_ATCOR\_F, ambas imágenes tienen una composición de color 654 (RGB)

Se obtienen 2 imágenes corregidas, las cuales serán recortadas para delimitar la zona de análisis y poder realizar los cálculos de forma eficaz, además no se contempla el estudio de la cobertura total de las imágenes, sino solo en el área específica donde se encuentra la central Hidroeléctrica Quimbo y en su Zona de influencia.

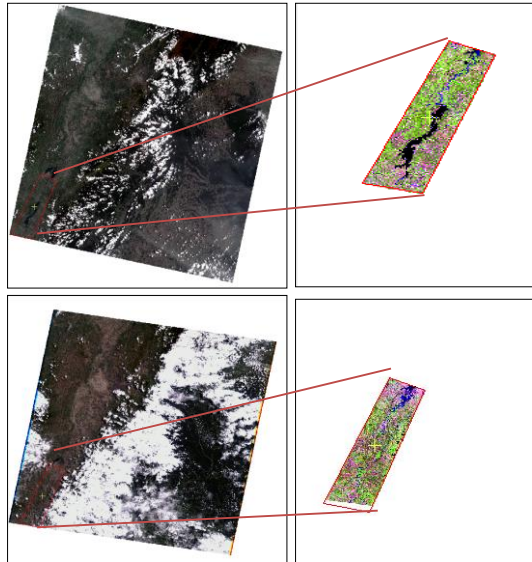


Fig. 10 Recorte imágenes. Costado izquierdo son las imágenes L7\_ATCOR\_F y L8\_ATCOR\_F, costado derecho corresponde a recorte (Clip) de la zona específica de estudio Qc20180317 y Qc20000830 respectivamente

En la figura 11 se describe la metodología del Pre-procesamiento de las imágenes de forma esquemática

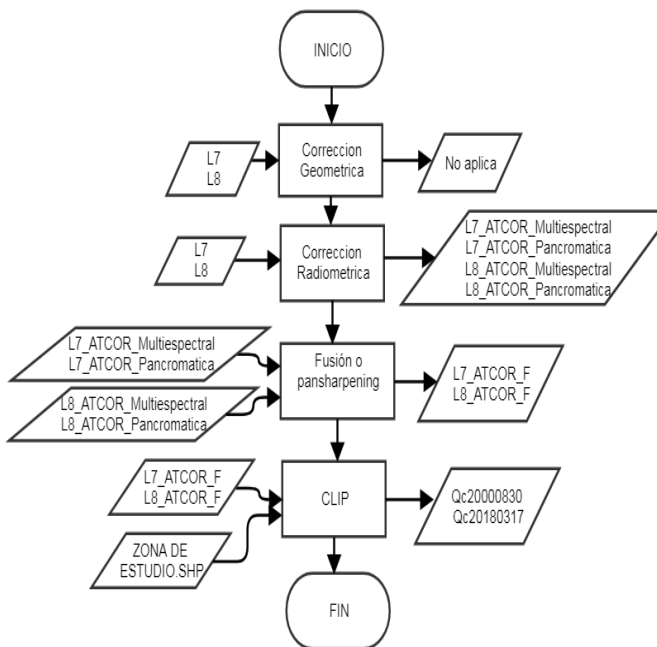


Fig. 11 diagrama de flujo pre-procesamiento de imágenes.

#### 4. Procesamiento de Imágenes

Una vez obtenidas las imágenes corregidas y recortadas el paso a seguir fue la identificación de las coberturas a analizar, para esto se agrupa inicialmente en 4 categorías:

1. Cuerpos de Agua: conformado por los ríos que se encuentran en la zona y que son alimentados por las distintas subcuencas localizadas en los municipios aledaños a la central hidroeléctrica.
2. Zonas Desnudas: representa las zonas erosionadas y que se encuentran severamente afectadas por la acción antrópica y donde existe poca vegetación en su caracterización.
3. Arbustos y Prados: conformado por algunos árboles y arbustos esparcidos, además de pastos naturales de uso ganadero y dedicados al pastoreo.
4. Vegetación Densa y Bosques: abarca los bosques nativos y vegetación que no ha sido intervenida en su totalidad manteniendo su estructura original.

Por tanto, se aplica los índices normalizados NDVI y NDWI. Los cuales permiten a partir de valores digitales realizar medidas cuantitativas que permitan estimar la cantidad de vegetación y de agua según los valores espectrales que resulten después de combinar las bandas (Diaz Garcia-Cervigón, 2015), se aplica el algoritmo en el programa Pci Geomática.

En la figura 12 y figura 13 se observa los índices de NDVI y NDWI aplicados a las imágenes Qc20000830 y Qc20180317, se observa la clasificación de coberturas obtenido una vez identificados los valores que oscilan entre -1 y 1, donde los valores negativos tienden a representar el agua, los valores cercanos a cero representan ausencia de vegetación o zonas desnudas, valores mayores a 0 matorrales o poca vegetación y los valores cercanos a 1 representan la vegetación densa. Al igual que para el NDVI en el índice NDWI los valores son representados de -1 a 1 donde los valores positivos representan contenido de agua.

Para el índice NDVI se aplica la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$$

Donde IRC es la reflectancia en el infrarrojo cercano y R la reflectancia en el rojo

Y para el índice NDWI se aplica la expresión de McFeeters, 1996:

$$NDWI = \frac{IRC - V}{IRC + V}$$



Donde IRC es la reflectancia en el infrarrojo cercano y V la reflectancia en el verde

Una vez identificados las coberturas se aplica un filtro de paso bajo que permite suavizar la imagen y resaltar la información, se utiliza un filtro de mediana que logra obtener un valor real del pixel y no un promedio de estos.

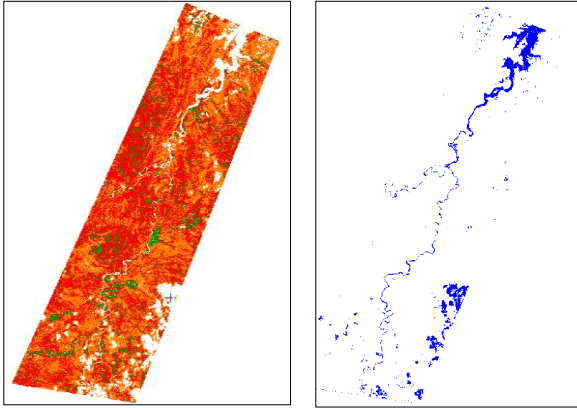


Fig. 12 Índices Normalizados. Costado izquierdo corresponde a NDVI (rojo corresponde a zona desnuda, naranja a arbustos y prados, verde a vegetación densa). Costado derecho corresponde índice NDWI (azul cuerpo de agua).

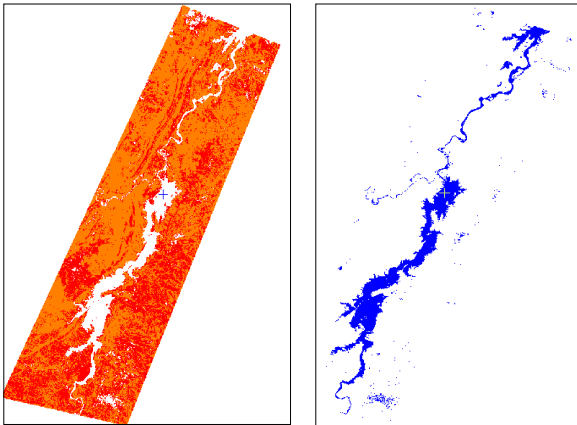


Fig. 13 Índices Normalizados. Costado izquierdo corresponde a NDVI (rojo corresponde a zona desnuda, naranja a arbustos y prados, no se presenta indicadores de vegetación densa). Costado derecho corresponde índice NDWI (azul cuerpo de agua).

## 5. Vectorización de Coberturas

Por último se realizó el proceso de vectorizar la información que se extrajo de las imágenes satelitales luego del pre-procesamiento y procesamiento para las dos épocas, esto nos permitió obtener información en formato Shape la cual podemos manipular para realizar el análisis espacial de los datos.

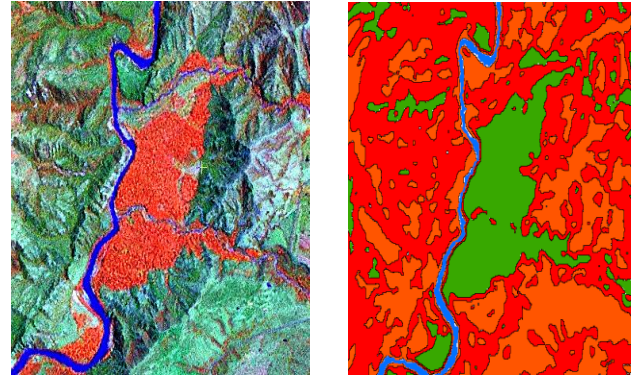


Fig. 14 Vectorización de coberturas imagen Qc20000830.

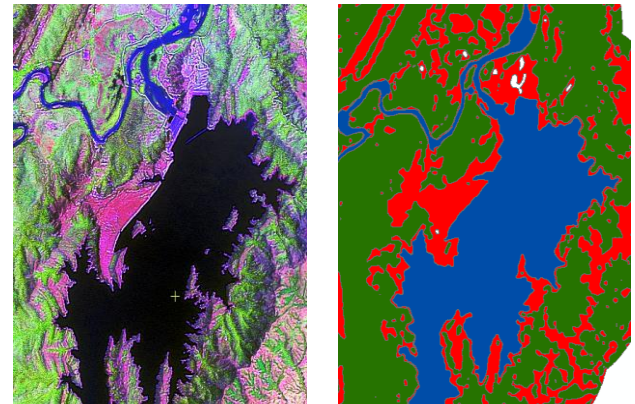


Fig. 14 Vectorización coberturas imagen Qc20180317.

## 6. Pruebas y Resultados

A continuación, se describen los cambios que se observaron en las coberturas vegetales y en el cuerpo de agua intervenido por la construcción de la central Hidroeléctrica el Quimbo a partir del análisis realizado por medio de las imágenes satelitales, para esto se definió tres zonas de influencia (Buffer) a lo largo del cuerpo de agua principal del año 2000, dichas zonas están referidas a las áreas de afectación comprendidas la primera por un área de 0.5 kilómetro, la segunda corresponde a un área de 1 kilómetro y la tercera de 2 kilómetros, esto alrededor del cauce. En la figura 15 se observa las 3 zonas definidas:

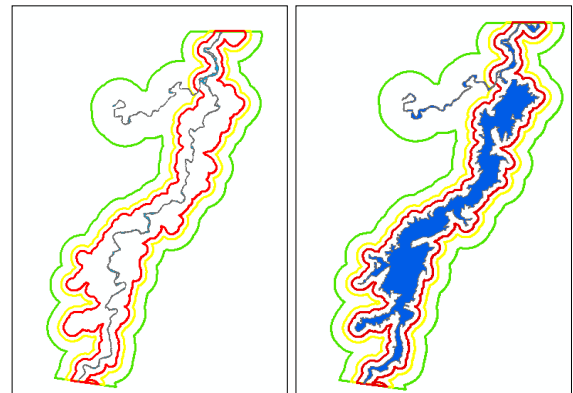


Fig. 15. Zonas de influencia, Buffer generados a 0.5(rojo), 1 (amarillo) y 2 (verde) kilómetros alrededor del cauce Principal.

Para la primera zona de influencia (Buffer 0.5 Km) se observa el cambio en el área del cauce principal, esto se ve reflejado en el sector denominado aguas arriba de la Central hidroeléctrica en los primeros 45 kilómetros, donde se presenta para el año 2000 un área del Rio de 340 hectáreas y para el año 2018 un aumento de 5488.23 hectáreas, esto se presenta debido a la construcción de la presa y dique que sirven para detener y embalsar el agua para su aprovechamiento en la generación de energía; aguas abajo de la central se presenta un área en el rio de 116.21 hectáreas para el año 2000 y de 167.40 para el 2018 respectivamente (ver figura 20).

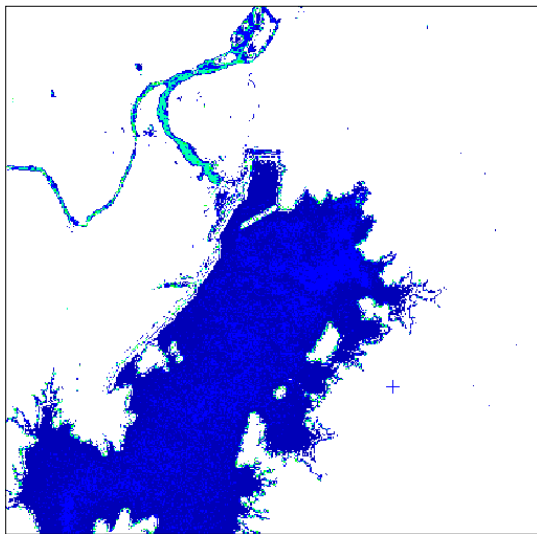


Fig. 16 Clasificación Cuerpo de Agua año 2018

Un cambio que se observa en la interpretación de los datos, es la clasificación en el cuerpo de agua a partir del índice NDWI para el año 2018 el cual contiene distintos valores para la zona de aguas arriba y aguas abajo, esto se evidencia por la clasificación y composición de color.

Otro aspecto importante que se observa es el cambio de áreas en los Arbustos y Prados, Suelos Desnudos y Vegetación Densa y Bosques, en el primero (Arbustos y Prados) se observa una disminución en sus áreas pasando de 9457.38 hectáreas a 3686.64 hectáreas, para los Suelos Desnudos para el año 2000 se cuenta con un área de 4293.75 hectáreas los cuales son reducidos a 3804.27 para el año 2018, finalmente se observa que la cobertura definida como Vegetación densa y Bosques que para el año 2000 cuenta con una área de 2246.11 es reducida a 0 para el año presente. (Ver figura 18).

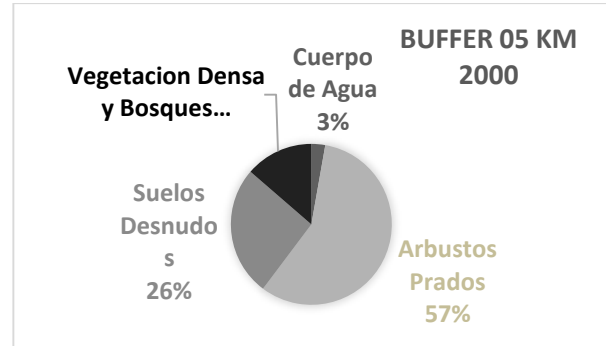


Fig. 17. Relación áreas año 2000 para zona de influencia Buffer 0.5 Km, Se observa que la mayor área en este sector corresponde a Arbustos y Prados con un 57%, seguida por los Suelos Desnudos y Vegetación Densa con un 26% y 14% respectivamente.

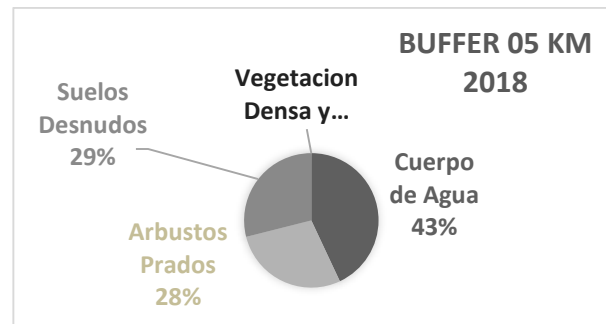


Fig. 18. Relación áreas año 2018 para zona de influencia Buffer 0.5 Km Se observa que para esta zona de afectación no se presenta cobertura de Vegetación densa y Bosques además que la cobertura con mayor extensión corresponde al cuerpo de agua contenido en su mayoría aguas arriba de la Central Hidroeléctrica

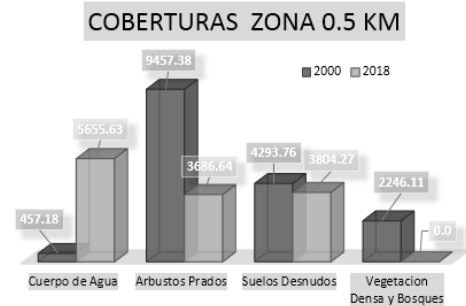


Fig. 19. Grafica Cambio Coberturas 2000-2018 zona de influencia 05 Km

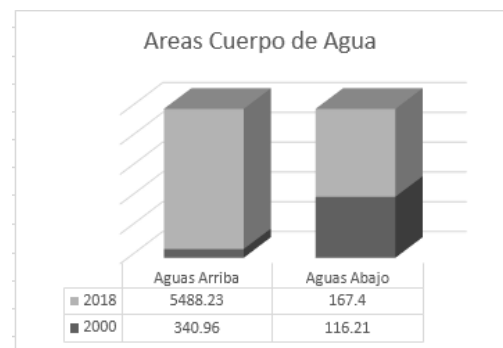


Fig. 20 Áreas del Cuerpo de Agua en sectores denominados como Aguas arriba y aguas Abajo.

En la segunda zona de influencia denominada Buffer 1Km se mantiene la misma relación en las áreas del cuerpo de agua, lo que indica que la principal zona de cambio es en los primeros 500 metros alrededor del cauce; para la cobertura de Arbustos y Prados se presenta una disminución en sus áreas pasando de 17459.99 hectáreas a 3105.00 hectáreas entre los años 2000 y 2018, para la cobertura Suelos Desnudos se obtiene un resultado contrario, pasando de 1530.73 hectáreas a 2851.52, presentando un aumento en su área, por ultimo para la cobertura Vegetación Densa se presenta la misma condición que en la primera zona de influencia, obteniendo una disminución de 463.94 hectáreas a 0 para el periodo comprendido entre los años 2000 y 2018. (ver figura 23).

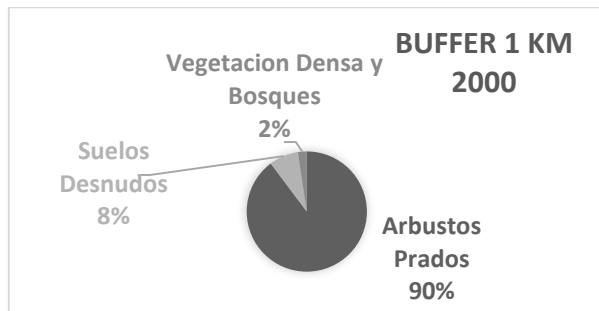


Fig. 21 Relación áreas año 2000 para zona de influencia Buffer 1 Km, se observa que en esta zona de influencia la mayor área corresponde a Arbustos y Prados seguida por Suelos desnudos y una pequeña parte de Vegetación Densa y Bosques.

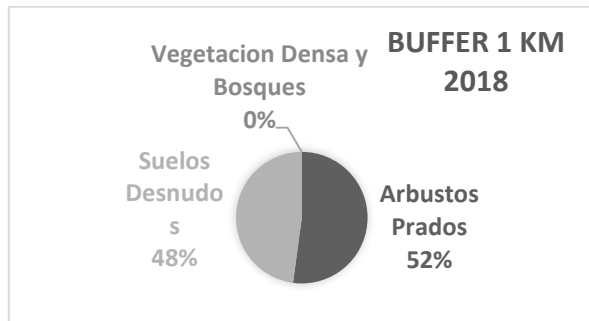


Fig. 22 Relación áreas año 2018 para zona de influencia Buffer 1 Km, se observa que en este sector no existe Vegetación Densa y que se encuentra clasificada su área en proporciones muy similares entre arbustos Prados y Suelos Desnudos.



Fig. 23. Gráfica Cambio Coberturas 2000-2018 zona de influencia 1 Km

Para la tercera y última zona de influencia (Buffer 2km) se destaca el aumento de Arbustos y Prados que pasan de 117.62 a 8584.13 hectáreas, y para los Suelos Desnudos de 1119.43 a 2632.63 hectáreas en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2018, se mantiene la condición para la vegetación Densa que pasa de 1537.06 hectáreas a 0. (ver figura 26).

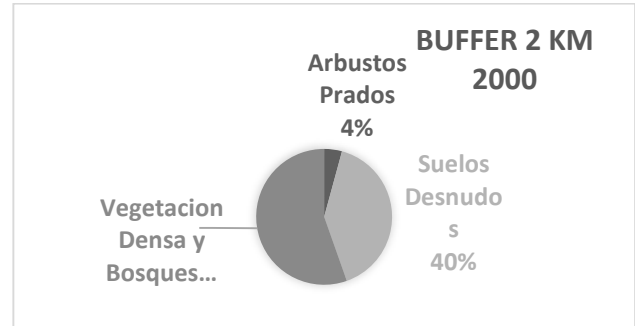


Fig. 24. Relación áreas año 2000 para zona de influencia Buffer 2 Km. Se observa que para esta zona la cobertura con mayor extensión es la de vegetación Densa y de Bosques (56%) seguida por los Suelos Desnudos (40%) y los Arbustos y Prados (4%).

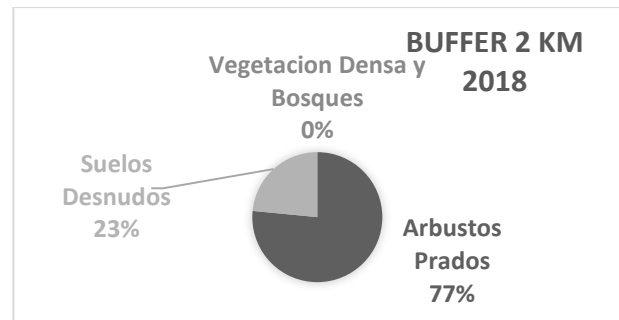


Fig. 25. Relación áreas año 2018 para zona de influencia Buffer 2 Km. Se presenta la cobertura de Arbustos Prados como la de Mayor extensión con un 77% seguida de Suelos desnudos con 23%.



Fig. 26. Gráfica Cambio Coberturas 2000-2018 zona de influencia 2 Km

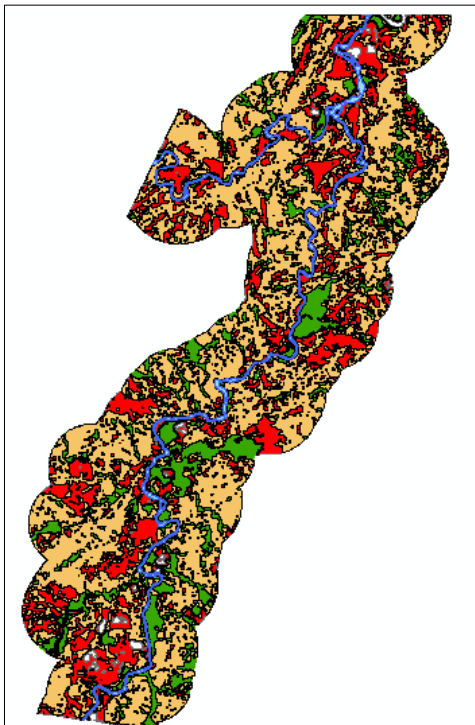


Fig. 27. Coberturas para el año 2000. Color azul corresponde a cuerpo de agua, color amarillo representa Arbustos y Prados, rojo Son Suelos Desnudos y verde hace referencia a Vegetación Densa y Bosques

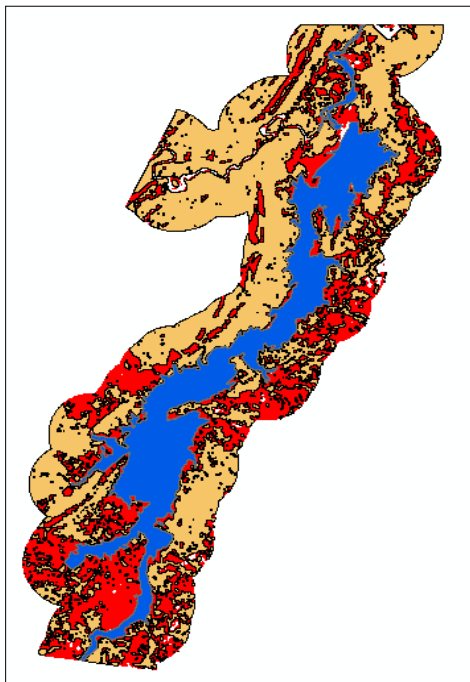


Fig. 28. Coberturas para el año 2018. Color azul corresponde a cuerpo de agua, color amarillo representa Arbustos y Prados, rojo Son Suelos Desnudos.

## 7. Conclusiones

Se observa que el mayor cambio presentado en las coberturas cercanas a la Central Hidroeléctrica el Quimbo, son los producidos en la Vegetación Densa la cual sufre una

disminución de 4247.10 hectáreas totales a valor de 0, esto se podría presentar como consecuencia de la construcción de dicha obra, además el aumento del área del cauce principal en el sector de aguas arriba se presenta como una causa en la disminución de esta cobertura y en la denominada como Arbustos y Prados la cual también disminuye de 27034.98 a 15375.75 hectáreas entre los años 2000 y 2018.

Se presenta un aumento en el área de suelos desnudos que pasa de 6943.92 hectáreas a tener un área total de 9288.415 hectáreas. Se puede observar que la mayoría de estos cambios se producen en la parte alta del río, recobrando la mayoría de sus condiciones naturales aguas abajo de la central. Es así como se identifica que las capas que disminuyeron sus áreas son la de Vegetación Densa-Bosques y la denominada como Arbustos y Prados, por otro lado, las que incrementaron su área fueron la del Cuerpo de agua y los Suelos Desnudos.

Se observa en la clasificación de la cobertura del Cuerpo de agua para el año 2018, que las características de color y forma son distintas tanto aguas arriba como aguas abajo, esto debido a que en la zona de aguas arriba se presenta una acumulación de sedimentos por el embalsamiento del agua, caso contrario a lo que ocurre aguas abajo donde el transporte de sedimentos se produce por el flujo constante del agua produciendo pequeñas islas o barras laterales causando erosión en el borde del río, clasificado como suelos desnudos.

La construcción de la central Hidroeléctrica el Quimbo y su utilización para la generación de energía se presenta como una de las principales causas del cambio en las áreas de las coberturas que se encuentran en las zonas cercanas a dicha obra, sin embargo, se debe de tener en cuenta otras variables tales como el cambio climático y la intervención de otras obras cercanas a la zona de estudio.

La detección de cambios a partir de imágenes de satélite se presenta como una herramienta muy útil en el análisis de coberturas vegetales, permitiendo clasificar, calcular y determinar áreas específicas en donde se produce disminución o aumento de coberturas. Para una mayor precisión en los resultados se requiere de trabajo de campo que permita identificar zonas de muestra para la clasificación de las coberturas.

El estudio considero un periodo de tiempo comprendido entre los años 2000 y 2018 pero se recomienda realizar comparaciones entre años más próximos y que dentro del análisis se contemple más de 2 épocas lo cual permita llevar un mayor control en el cambio de coberturas. Además de esto se pueden obtener mejores resultados si la resolución espacial de las imágenes se mejora, para esto se requerirá trabajar con imágenes Spot o imágenes Sentinel.

Para grandes extensiones de tierra de recomienda utilizar una clasificación supervisada en vez de la utilización de

índices de cobertura esto debido a que la caracterización de las distintas coberturas puede verse influenciada por la generalización de las áreas que se calculan por medio de los índices NDVI y NDWI.

## 8. Bibliografía

- Aldana Otálora, C., & Chindicue Garzón, C. A. (s/f). *Análisis Multitemporal Humedales Tierra Blanca Y Neuta Municipio De Socha Sector Compartir*. Bogotá. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11888/2/An%C3%A1lisis%20Multitemporal%20Humedales%20Municipio%20de%20Socha%20sector%20Compartir%20282%29.pdf>
- Asociación Interamericana para la Defensa del Ambiente (AIDA). (2009). *Grandes Represas En America, ¿Peor El Remedio Que La Enfermedad?* Obtenido de [http://www.aida-americas.org/sites/default/files/InformeAIDA\\_GrandesRepreseas\\_BajaRes.pdf](http://www.aida-americas.org/sites/default/files/InformeAIDA_GrandesRepreseas_BajaRes.pdf)
- Berlanga Robles, C., & Ruiz Luna, A. (s.f.). *Evaluación de cambios en el paisaje y sus efectos sobre los humedales costeros del sistema estuarino de Sinaloa*. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-38802006000600004&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-38802006000600004&script=sci_abstract)
- Castañeda Mora, E. I. (2014). *Análisis Multitemporal Del Cuerpo De Agua De La Laguna El Sonso Mediante Imágenes Satelitales Landsat*. Bogotá. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13442?mode=full>
- Chuvieco. (1998). *El Factor Temporal En Teledeteccion: Evolución Fenomenología Y Analisis De Cambios*. Alcalá. Obtenido de [http://www.aet.org.es/revistas/revista10/AET10\\_4.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista10/AET10_4.pdf)
- Díaz García-Cervigón, J. (2015). Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. 78. Obtenido de [http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- García Ruiz, J., & Puigdefabregas Tomas, J. (1985). *Efectos De La Construcción De Pequeñas Presas En Cauces Anastomosados Del Pirineo Central*. Obtenido de <https://publicaciones.unirioja.es/ojs/index.php/cig/article/view/946>
- Gordillo Sanchez, G. (2015). *Detección De Cambios Físicos En La Cobertura De La Mina De Níquel "Cerromatoso" Utilizando Imágenes Satelitales Multiespectrales*. Bogotá. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6589/1/ARTICULO-ESPECIALIZACION%20EN%20GEOMATICA-GINA%20GORDILLO%203101228.pdf>
- López Alonso, R., Pons Puy, P., & J. Batalla, R. (2004). *Efectos Hidrogeomorfológicos Aguas Abajo De Embalses*. 7. Obtenido de <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/46507/004307.pdf?sequence=1>
- Matoma Cardona, J. M., & Cañas Torres, J. A. (2017). *Interpretación De Coberturas De La Tierra Y Análisis Multitemporal Para El Área De Compensación Ambiental Del Proyecto Hidroeléctrico De El Quimbo*. Bogotá. Obtenido de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:OXv2oo5hljsJ:repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6205/1/MatomaCardonaJefersonMauricio2017.pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>
- Maza Álvarez, J. A. (2004). *La Necesidad De Construir Presas*. Obtenido de <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/2547>
- Mina Galeano, M. F., & Palecia Rivera, J. D. (2017). *Transformación Del Bosque Seco Tropical Y Del Servicio Ecosistémico De Apoyo "Hábitat Para Especies" En Los Municipios Pertenecientes A La Jurisdicción De La Hidroeléctrica El Quimbo (Huila, Colombia) Durante Los Años 2000 Y 2016*. Bogotá. Obtenido de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:UzrVPUdb1jAJ:repository.udca.edu.co:8080/jspui/bitstream/11158/687/1/OPCI%25C3%2593N%2520DE%2520GRADO%2520%2528TRABAJO%2520DE%2520INVESTIGACI%25C3%2593N%2520FINAL%2529.pdf+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co>
- Muñoz Guerrero, D., Rodríguez Montenegro, M., & Romero Hernández, M. (2009). *Análisis Multitemporal De Cambios De Uso Del Suelo Y Coberturas, En La Microcuenca Las Minas, Corregimiento De La Laguna, Municipio De Pasto, Departamento De Nariño*. Obtenido de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/54>
- Palacios Sierra, R. (2013). *Inventario De Presas En Colombia*. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf>
- Peña Olarte, G. A., & Sánchez Mojica, L. M. (2016). *Determinación De Las Afectaciones Por Inundaciones Aguas Abajo De La Represa De Betania A Partir De 1987 Mediante La Implementación De Indicadores De Seguimiento*. Bogotá. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3800/1/Pe%C3%B1aOlarteGinaAlexandra-S%C3%A1nchezMojicaLindaManuela2016.pdf>
- Ramírez Zapata, A. (2015). *Análisis Multitemporal Mediante Sensores Remotos De Cobertura De La Tierra Para El Periodo De Tiempo 1999 -2011 En El Municipio De San Jacinto, Bolívar*. Bogotá.

Obtenido de <http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/bitstream/10654/6318/3/An%C3%A1lisis%20multitemporal%20San%20Jacinto%201999-%202011.pdf>

Ramos Galvis, J. F. (2017). *Detección De Cambios En Imágenes Multiespectrales Para El Satelite Landsat 7 De La Nasa*. Bogotá. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/16016>

Riaño M., O. (2002). *Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa*. Bogota. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3306/4808>

Sánchez Martín, N. (2009). *Teledetección Óptica Aplicada A Un Modelo Distribuido De Balance Hídrico (Hidromore) Para El Cálculo De Evapotranspiración Y Humedad De Suelo*. Universidad de Salamanca, Salamanca. Obtenido de <http://www.tesisenred.net/handle/10803/21178>