

Identificación de fenómenos que degradan el ecosistema en la cuenca del Río Quito – Chocó a través de técnicas de teledetección

**Identificación de fenómenos que degradan el ecosistema en la cuenca del
Río Quito – Chocó a través de técnicas de teledetección**

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica

Universidad de Manizales

Manizales- 2022

Identificación de fenómenos que degradan el ecosistema en la cuenca del Río Quito – Chocó a través de técnicas de teledetección

**Identificación de fenómenos que degradan el ecosistema en la cuenca del Río Quito
– Chocó a través de técnicas de teledetección**

Informe final de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster en Tecnologías de la Información Geográfica

Línea de Investigación: Desarrollo Territorial y Gestión Ambiental

Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Maestría en Tecnologías de la Información Geográfica

Manizales, 2022

Resumen

Se realizó un análisis multitemporal y predictivo de las áreas degradadas por la actividad minera en la cuenca del río Quito en un periodo de 4 años, esta cuenca está conformada por los municipios de Atrato, Istmina, Cértegui, Unión Panamericana, Río Quito y Cantón del San Pablo. La mayor parte del territorio lo ocupa el municipio de Río Quito, con un equivalente al 40,8% del área total de la cuenca. Es importante señalar que el desarrollo de la actividad minera artesanal y mecanizada, junto con la pesca, ha sido una de las principales fuentes económicas de la región, cabe señalar que estas actividades se realizan en los ríos y sus afluentes, el río Quito recorre casi la mitad de la cuenca y recibe las aguas de los afluentes de Cértegui y El Cantón del San Pablo, municipios que han desarrollado actividad minera durante muchos años, esto conlleva a una extensión del área afectada.

De esta forma, los ecosistemas asociados a esta zona, en los últimos años, han sido escenario del ejercicio de actividades que atentan contra la gran diversidad biológica y cultural, la explotación de los bosques de forma artesanal y mecanizada, de forma convenida o ilegal. , han causado impactos negativos en la calidad de vida de las personas asentadas en el territorio ya que han desaparecido peces y especies silvestres, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de los habitantes, ha cambiado la trayectoria y la calidad del agua de los ríos.

El objetivo principal es determinar, a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales, la tendencia de degradación del suelo debido a diferentes actividades antrópicas, utilizando la herramienta de clasificación aleatoria de bosques Random Forest, configurando un algoritmo de clasificación y adoptando la metodología corine land cover para la definición de las clases y el cálculo de la cobertura del suelo, también se calcula el

coeficiente kappa para verificar la exactitud de la clasificación de las coberturas, para ello se espera como resultado la predicción del comportamiento de las áreas degradadas por los diversos factores antrópicos. actividades y la propuesta de alternativas que ayuden a mitigar el impacto causado en la zona y permitan a los habitantes tomar decisiones sobre el buen uso y manejo del suelo en su territorio.

Palabras clave: (Análisis multitemporal, Áreas degradadas, Cobertura, Cuenca, Imágenes de satélite, Random Forest).

Abstract

A multitemporal and predictive analysis of the areas degraded by mining activity in the Quito river basin was carried out in a period of 4 years. This basin is made up of the municipalities of Atrato, Istmina, Cértegui, Unión Panamericana, Río Quito and Cantón del Saint Paul. Most of the territory is occupied by the municipality of Río Quito, with an equivalent to 40.8% of the total area of the basin. It is important to point out that the development of artisanal and mechanized mining activity, together with fishing, has been one of the main economic sources of the region. It should be noted that these activities are carried out in the rivers and their tributaries, the Quito River runs almost half of the basin and receives water from the tributaries of Cértegui and El Cantón del San Pablo, municipalities that have developed mining activity for many years, this leads to an extension of the affected area.

In this way, the ecosystems associated with this area, in recent years, have been the scene of the exercise of activities that threaten the great biological and cultural diversity, the exploitation of forests in an artisanal and mechanized way, in an agreed or illegal way. , have caused negative impacts on the quality of life of the people settled in the territory since fish and wild species have disappeared, putting the food security of the inhabitants at risk, the trajectory and quality of the water of the rivers have changed.

The main objective is to determine, through the multitemporal analysis of satellite images, the trend of land degradation due to different anthropic activities, using the Random Forest random classification tool, configuring a classification algorithm and adopting the corine land cover methodology. For the definition of the classes and the calculation of the soil cover, the kappa coefficient is also calculated to verify the accuracy of the classification of the covers, for which the prediction of the behavior of the areas degraded by the various factors is expected as a result. anthropic. activities and the proposal of alternatives that help mitigate the impact caused in the area and allow the inhabitants to make decisions about the proper use and management of the soil in their territory.

Keywords: (Multitemporal analysis, Degraded areas, Coverage, Basin, Satellite images, Random Forest).

Contenido

1. Introducción	9
2. Planteamiento del problema de investigación y justificación	10
2.1. Descripción del área problemática	10
2.2. Formulación del problema	12
3. Justificación	12
4. Antecedentes	15
5. Objetivos	40
5.1. Objetivo general	40
5.2. Objetivos específicos	40
6. Referente Contextual	41
7. Referente Normativo y legal	44
7.1. Antecedentes Normativos	46
8. Referente teórico	47
8.1. Minería en Colombia	47
8.2. Sistemas de información geográfica	50
8.3. Georreferenciación y Proyección:	51
8.4. Teledetección	52
8.5. Naturaleza de la Radiación electromagnética	53
8.6. Imágenes Satelitales	55
8.7. Cobertura de la tierra	57
8.8. Análisis multitemporal	57
8.9. Estimación de la exactitud de una clasificación: Matriz de contingencia	58
9 Cuencas hidrográficas	60
9 .1 Características de las cuencas hidrográficas	60
9 .2 Principales cuencas hidrográficas	61
9 .3 Partes que forman una cuenca	61
9 .4 Randon forest	63
9 .5 Google Earth Engine	64
10. Hipótesis de investigación	65
11. Metodología	65
11.1. Enfoque metodológico	65
11.2. Tipo de estudio	66
11.3. Diseño de la investigación	66
11.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información	67
11.5. Descripción metodológica	69
11.5.1. Plan de análisis	69

12. Resultados Obtenidos	71
12.1. Identificación de fenómenos que afectan o alteran el ecosistema en la cuenca del Río Quito	72
12.2. Cálculo de las áreas afectadas en un lapso del 2015 al 2019 con una temporalidad bianual de los fenómenos identificados en la cuenca del Río Quito	74
12.2.1. Recolección de datos	74
12.2.2. Clasificación de las coberturas.....	75
12.3. Elaboración de cartografía temática del área de estudio donde se evidencia el área afectada	84
12.4. Planteamiento de alternativas que mitiguen las consecuencias derivadas de la explotación de los recursos ecosistémicos sin control	85
13. Discusión y Conclusiones	87
14. Recomendaciones.....	90
15. Referencias bibliográficas	91

Lista de Figuras

	Pág.
Figure 1. Zona de estudio - Cuenca del rio Quito.....	42
Figure 2. Formaciones Geológicas en la cuenca del rio Quito.....	43
Figure 3. Normatividad en el sector minero.....	45
Figure 4. Espectro electromagnético.....	53
Figure 5. Bandas espectrales del sensor Landsat.....	56
Figure 6. Características de una imagen Lansad.....	57
Figure 7. Rango de concordancia de validación para el coeficiente Kappa.....	60
Figure 8. Leyenda metodología Corine Land Cover.....	70
Figure 9. Imagen Lantsad 8 de 2015.....	74
Figura 10. Imagen Lantsad 8 de 2019.....	75
Figura 11. Nivel 3 de la leyenda de la metodología Corine Land Cover.....	76
Figure 12. Coordenadas de campo.....	77
Figura 13. Polígonos de zonas de explotación minera.....	78
Figure 14. Código para clasificación de imágenes.....	78
Figure 15. Entrenamiento del modelo Random Forest.....	79
Figure 16. Imagen clasificada, Lantsad 8 de 2015.....	82
Figure 17. Imagen clasificada, Lantsad 8 de 2019.....	83
Figure 18. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Rio Quito.....	98
Figure 19. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Rio Quito.....	98
Figure 20. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Rio Quito.....	99
Figure 21. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Rio Quito.....	99
Figure 22. Coordenadas tomadas en campo.....	100
Figure 23. Títulos mineros en la zona de estudio.....	101
Figure 24. Clasificación de coberturas 2015.....	102
Figure 25. Clasificación de coberturas 2019.....	103
Figure 26. Uso del suelo en la cuenca del río Quito.....	104
Figure 27. Diagrama de proceso.....	105

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Efectos potenciales de la minería	48
Table 2. Coordenadas Cuenca Rio Quito	71
Tabla 3. Municipios que hacen parte de la cuenca de Río Quito	72
Tabla 4. Matriz de confusión - Índice de Kappa	80
Tabla 5. Títulos colectivos de comunidades afrodescendientes	84
Tabla 6. Resguardos indígenas de la cuenca del río Quito	85

1. Introducción

En nuestro país la minería de aluvión nació a comienzos del siglo XVI, cuando los colonialistas españoles ocuparon el territorio que era habitado por las comunidades étnicas indígenas, despojando a estos de sus recursos minerales; cuando culminó esta etapa muchos se trasladaron a los ríos y quebradas y exploraron los suelos para obtener los materiales preciados.

África y América del sur han sido las regiones más golpeadas por la deforestación, hay que recordar que Colombia ha sido reconocida por la comunidad internacional como un país “megabiodiverso”, al constituir fuente de riquezas naturales invaluable en el planeta, que amerita una protección especial bajo una corresponsabilidad universal.

No obstante, el impacto de la minería ilegal en el Chocó es tan fuerte que ha llegado a separar familias, a incrementar la violencia y a estimular la pérdida de las creencias y tradiciones. (sentencia T622 de 2016)

La problemática ambiental y social en los municipios que conforman la cuenca del río Quito debido a la ejecución de la actividad minera sin control, han motivado a llevar a cabo la investigación de identificación de fenómenos que degradan el ecosistema en la cuenca del río Quito, para lo cual se utilizaron técnicas cuantitativas y cualitativas, recopilando datos insitu y aplicando algoritmos de clasificación como el Random Forest para el análisis multitemporal de manera que permita la interpretación y comparación de datos y situaciones que permitan determinar las causas de deterioro ambiental.

Mediante el presente trabajo se sintetiza un enfoque social, ambiental y técnico que puede ser de gran aporte al desarrollo e implementación de nuevas propuestas y políticas que giren en torno a la práctica de la actividad minera en busca de las mejores alternativas de extracción que favorezcan a los pobladores de la cuenca.

2. Planteamiento del problema de investigación y justificación

2.1. Descripción del área problemática

La cuenca hidrográfica del río Quito está ubicada principalmente en la zona central del departamento del Chocó. Esta cuenca posee un área de 1.668,89 hectáreas; (Ver Tabla 1), su división político administrativa está constituida por los límites de los municipios de Atrato, Istmina, Cértegui, Unión Panamericana, Río Quito y Cantón del San Pablo. La mayor parte del territorio está representado por el municipio de Río Quito el cual tiene un área de 68.098,56 hectáreas equivalentes al 40,8% del área total de la cuenca, seguido del municipio de El Cantón de San Pablo que cubre un área de 31.436,1has, representadas en el 18,8% del total de la cuenca. (Ver Tabla 2)

Esta zona es especialmente rica en especies de flora y fauna, sin embargo, este ecosistema se ha visto disminuido en la zona debido a la presencia de diferentes actividades de subsistencia entre ellas la explotación minera, la ejecución de la ganadería, la práctica de la agricultura, la extracción de árboles maderables y la caza desorganizada de especies animales en peligro de extinción, (Alcaldía Municipal, 2005-2016).

Es importante resaltar que el desarrollo de la actividad minera artesanal y mecanizada es una de las principales actividades económicas de la región, la cual se desarrolla sobre el río San Pablo, este río recorre la totalidad del municipio y casi el 40% de la cuenca, drena sus aguas al río Quito, lo que conlleva a que se aumente la zona de afectación de la actividad sobre la cuenca.

De esta manera las especies y los ecosistemas existentes en el área de influencia, en los últimos años vienen siendo el espacio de acciones que atentan contra su gran riqueza biológica natural, debido a las buenas condiciones de los suelos, los hace propicios para la

tala de bosques, el desarrollo de la explotación de carácter artesanal e ilegal, hayan ocasionado impactos negativos sobre la calidad de vida de las comunidades asentadas en dichos territorios.

El documento “El agua en el Chocó” realizado por Jairo Miguel Guerra para Ecofondo, deja ver la realidad del agua en la minería “Los datos que se tienen no son muy alentadores como lo demuestran los emanados del “Estudio de impacto ambiental en zonas mineras del Departamento del Chocó” adelantado por CODECHOCO en el año de 1998: La devastación de cobertura vegetal alcanza las 1.200 ha/año; las minas vierten diariamente una carga de 4.400 toneladas de sólidos y 285 toneladas de Demanda Química de Oxígeno (DQO), que equivalen a los vertimientos de 5.000.000 de habitantes. Los niveles de mercurio observados en los peces de algunos ríos superan en más de 100 veces los niveles máximos permitidos para el consumo humano” (Codechocó 1998).

Según la sentencia T 445 de Agosto de 2016 en Colombia la mayoría de actividades extractivas de minerales se realiza de manera artesanal y bajo nivel tecnológico, utilizando métodos mineros que no permiten optimizar el aprovechamiento de los recursos, y que en su proceso no se implementan medidas de manejo ambiental para prevenir afectaciones de los recursos naturales, e incluso, como en el caso de la extracción de Minerales Metálicos, se utilizan productos químicos contaminantes como el mercurio y el cianuro, que sin los adecuados controles generan un alto riesgo de afectación a la vida silvestre y a la salud humana. (Ayala M. Helcias et. al. 2016).

De acuerdo a lo anterior, es de resaltar que dicha intervención ha modificado de una manera permanente la vegetación original de la cuenca del Río Quito, donde muchas especies nativas han desaparecido al destruirse grandes áreas debido a la explotación del subsuelo, la ausencia de especies icticas y los problemas de salud como infecciones en la piel son evidentes y a la falta de alternativas económicas productivas para garantizar la

vida, donde la necesidad de subsistir incita al desarrollo de prácticas poco amigables en contra del entorno natural.

Es de anotar que las actividades del hombre han llevado al deterioro de los bosques debido a la expansión de la frontera agrícola, la ganadería, la infraestructura y la minería; y otras causas indirectas asociadas a los cambios sociales, políticos y económicos, como lo son el crecimiento demográfico, la tenencia de la tierra y políticas sectoriales (Armenteras y Rodriguez, 2014). Cabe resaltar que la degradación de las áreas en la cuenca se da por distintas razones, entre ellas las mencionadas, en ese sentido se profundiza en la actividad minera ya que es la de mayor impacto en la zona. (Ver: **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de los anexos.

Es por ello que se propone realizar un análisis multitemporal de los ecosistemas presentes en la cuenca de Río Quito, con el objeto de determinar el estado de degradación del territorio debido a que hay pocos estudios donde se empleen herramientas de teledetección para el monitoreo de las coberturas y falta de documentación de los planes de manejo de bosques, actualmente no hay información ni se encuentran actualizados.

2.2. Formulación del problema

¿Cómo a través del sensoramiento remoto y los sistemas de información geográfica, se puede determinar el estado de degradación de la cuenca de Río Quito ocasionada por diferentes actividades antrópicas?

3. Justificación

La capacidad de los bosques como principales receptores y liberadores de oxígeno es esencial para los seres vivos y la subsistencia de especies vegetales en el mundo, se

basa en el buen estado y estructura de los suelos, los cuales funcionan como agentes controladores de inundaciones y erosiones, además, producen diferentes tipos de especies maderables que se utilizan para la fabricación de papel, lápices, muebles, etc., proporcionan considerables tipos de alimentos y ayudan a dar dirección y reducir la velocidad a los vientos.

Los servicios ambientales que prestan los bosques del pacifico norte en este sentido son excepcionales ya que en estos encontramos desde especies medicinales, hasta especies que hacen parte de la dieta alimentaria de los pobladores de la región. Para nadie es un secreto que estos bosques han sido parte del sustento de las familias de la región, obteniendo alimentos y realizando actividades de explotación poco amigables al ambiente y fuentes de agua.

La minería artesanal o de subsistencia es considerada como una de las actividades productivas más importantes en la región, está relacionada a otras formas de vida: agricultura, pesca y recolección. Hace parte de la cultura de estos pueblos negros e indígenas, lo que constituye su identidad como una tradición productiva de alto valor simbólico.

El tema de explotación minera con afectación ambiental a la cuenca del río Quito, tiene gran relevancia por ser de interés general, por la situación que viven actualmente sus pobladores, siendo importante la temática de estudio, ya que son muchas las personas que se han visto afectadas con esta problemática, debiendo afrontar daños no solo a su salud con enfermedades en la piel, malformaciones en bebés y cambios en la dieta alimentaria, sino también, afectaciones al medio ambiente y por ende repercusiones de índole moral, social y cultural, debido a la inadecuada práctica de la actividad por parte de sus pobladores y foráneos.

La motivación para desarrollar este proyecto fue que al revisar los documentos de (Esquema de ordenamiento territorial “EOT” y plan de desarrollo municipal), se pudo evidenciar la ausencia de trabajos que contengan información detallada de esta temática, además, se evidenció la necesidad de implementación de una metodología que utiliza técnicas de teledetección para la identificación de agentes que propician el deterioro del medio ambiente y el cambio del método de subsistencia de sus pobladores ya que aporta datos estadísticos que permiten verificar y mostrar una problemática sentida por la comunidad con propuestas que le permitan mitigar el impacto y promover el desarrollo de su región en materia de calidad ecosistémica y ambiental.

La realización de este proyecto es muy importante porque aporta información valiosa sobre el estado de degradación de la cuenca del Río Quito si continúan las diferentes actividades antrópicas, especialmente la explotación de materiales preciosos, también servirá de orientación a la hora de tomar decisiones para otorgar permisos para el desarrollo de actividades extractivas de minerales y servirá de apoyo a la elaboración de planes de acción que permitan mitigar la presión y la destrucción de los ecosistemas y el ambiente, que ayude al mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores.

El beneficio que traerá la ejecución de este proyecto será el aporte de insumos para la elaboración de planes de acción en materia de explotación de los recursos naturales al observar el estado de degradación de las áreas y la tendencia de aumento de las mismas en los municipios que hacen parte de la cuenca, de allí se desprende la necesidad de dar a conocer las repercusiones que origina el desarrollo de diferentes actividades que destruyen la naturaleza, en la vida del ser humano. Este trabajo es novedoso en la zona porque permite dar a conocer a los pobladores, los agentes causantes de la degradación de los ecosistemas y por ende aportar al mejoramiento de la cuenca por medio de soportes que ayuden a la hora de tomar decisiones sobre el territorio.

4. Antecedentes

En la investigación de trabajos que sirvieran de soporte al proyecto, se encontraron documentos y artículos acerca de los análisis multitemporales tanto a nivel mundial, como a nivel regional y local, en los cuales se describe la afectación, metodología y análisis de las coberturas. Posteriormente se mencionarán algunos de ellos.

A nivel global se encontró un trabajo correspondiente a Yumiao Wang, Zhou Zhang, Luwei Feng, Qingyun Du and Troy Runge, denominado Combining Multi-Source Data and Machine Learning Approaches to Predict Winter Wheat Yield in the Conterminous United States, del 12 de abril de 2020, que tuvo como objetivo de estudio responder a las siguientes tres preguntas: (1) ¿Cuál es el mejor modelo para predecir el rendimiento de trigo de invierno CONUS? (2) ¿Cuánta mejora se puede obtener combinando los datos de múltiples fuentes? (3) ¿Cuál es el rendimiento de predicción casi en tiempo real dentro de la temporada de crecimiento?, para este estudio la metodología utilizada consistió en utilizar los datos de múltiples fuentes, incluidas las imágenes satelitales, los datos climáticos, los mapas de suelos y los registros históricos de rendimiento, se usaron sinérgicamente como predictores para pronosticar el rendimiento del trigo de invierno en el CONUS de 2008 a 2018 a nivel de condado. Se construyeron y compararon dos métodos de regresión lineal (mínimo cuadrado ordinario (OLS), operador de selección y contracción menos absoluta (LASSO)) y cuatro modelos de aprendizaje automático (SVM, RF y Adaptive Boosting (AdaBoost) y red neuronal profunda (DNN)).

Como resultado se obtuvo el entrenamiento y la capacitación de los 6 modelos descritos anteriormente, utilizando los factores completos y seleccionados. por separado

para comparar el desempeño y evaluar la efectividad del factor por separado para comparar el rendimiento, se observó que el rendimiento previsto generado por el modelo AdaBoost tenía los patrones espaciales más similares con la verdad del terreno, mostró la agrupación más débil con el valor más bajo de Moran's I en 2017 (Moran's I = 0.36, P <0.01) y 2018 (Moran's I = 0.32, P <0.01), lo que demuestra su mayor adaptabilidad espacial en comparación con otros enfoques. Los resultados indicaron que la selección de factores jugó un papel importante en la mejora del rendimiento del modelo, lo que estaba de acuerdo con estudios previos, se notó que el método OLS tenía menor precisión que todos los demás, trabajo que se relaciona con el que se va a desarrollar porque se utilizaron técnicas de clasificación y algoritmos de predicción que se están utilizando y algunos que se van a utilizar en el estudio de la investigación.

También se encontró el trabajo de grado Predicción mediante sensores remotos de la sedimentación en el santuario del río Chone, Vinuesa C. Erika L., Sinde G. Izar (2020), tuvo como objetivo Determinar las zonas de mayor sedimentación litoral en el estuario del Río Chone, Bahía de Caráquez en Ecuador, y se realizó una predicción del cambio en la dinámica fluvial para el año 2029, en la metodología se realizó una clasificación supervisada se diferenciaron categorías como suelo, agua y sedimentos suspendidos, el principal objetivo es distinguir las zonas de sedimentación en el Estuario del río Chone para lo cual se utilizó el algoritmo de máxima verosimilitud. Se realizó una reclasificación en el software IDRISI. Como resultado se obtuvo que la validación del modelo de sedimentación para el año 2019 fueron realizados a través del índice kappa, que arrojó un valor del 78% de ubicación con una categorización de "Bueno", es decir que, de cada 100 píxeles, 78 son coincidentes. De forma adicional se obtuvo el índice kappa con un valor del 65%, este a su vez describe la cantidad de píxeles presentes en cada clase de

la imagen simulada respecto a la realidad. El ajuste global o índice estándar para el modelo de predicción tuvo un valor del 58%.

De igual modo se rastreó el proyecto titulado Análisis multitemporal de la deforestación en la ciénega de Ayapel mediante el procesamiento de imágenes de satélites en el periodo 2010-2020, la investigación se enfatiza en el proceso de deforestación en la ciénega de Ayapel, utilizando la herramienta de los sistemas de información geográfica SIG como lo es la Teledetección, por medio del procesamiento multitemporal de imágenes de satélite de la zona de estudio, el cual tuvo como objetivo determinar las áreas con mayor presencia de suelo desnudo, a partir del análisis de la pérdida y cambios de la cobertura vegetal del humedal a través del tiempo, en un periodo de 10 años. Se llevó a cabo el procesamiento de las imágenes de satélite en los Software QGIS y ArcGIS, se le aplicó el análisis multitemporal de las imágenes para recolectar datos numéricos y geográficos en el periodo de tiempo establecido, cada imagen se sometió a diferentes procesos, recorte para detallar la delimitación de la zona de estudio, composición en falso color, índices de vegetación (NDVI) y Suelo Desnudo (BSI), y Reflectancia. Posteriormente se realizó la cartografía y se obtuvieron los resultados, los cuales son áreas que en el tiempo se reportan como zonas desnudas debido a diferentes factores que influyeron en su cambio de cobertura.

El objetivo de este trabajo se enfocó en eliminar nubes y sombras de imágenes de satélite multitemporal (Chen, He, Yokoya, & Zhun-Huang, 2019), donde se propone un método de eliminación de nubes/sombras para imágenes de teledetección de series de tiempo, en primer lugar se descompone la imagen degradada en un componente de imagen limpia reflejada en la superficie y un componente disperso que puede utilizar simultánea y completamente las características de estos dos componentes, los resultados finales del método propuesto concluyeron que se puede capturar eficientemente la información previa

para ambas imágenes y los componentes de la nube; aunque el método no fue como se esperaba para recuperar completamente la información.

De igual modo, se encontró el proyecto titulado Modelos de temperatura del suelo a partir de sondeos superficiales y sensores remotos para el área geotérmica de Paipa, Boyacá-Colombia, (Alfaro-V. Claudia, Rodríguez-R. Gilbert, Matiz-L. Jhon, 2019) este proyecto tuvo como objetivo, realizar seguimiento de los cambios de temperatura en función de las temperaturas superficiales, la metodología de investigación, corresponde al procesamiento de un modelo de temperaturas a partir de imágenes de SR, específicamente el procesamiento de imágenes Landsat 8 TIRS (bandas 10 y 11) del área geotérmica, como resultado se obtuvo que a partir de las pruebas realizadas con los modelos estadísticos, se estableció que los resultados en la interpolación que presentan valores más cercanos a la temperatura real del subsuelo son los generados con Kriging Simple. La selección de este método se evidenció por medio de la generación de los modelos definitivos, teniendo en cuenta que la información estadística resultante, tales como media y error medio cuadrático, contarán con valores cercanos a 0 y 1 respectivamente, el análisis permitió construir los modelos óptimos para representar la distribución de temperatura de acuerdo a los valores registrados.

La obtención de imágenes deseadas de datos de cobertura de suelo e información del terreno, según el artículo (Peng, Wang, Zou, Luo, Gong, & Li, 2019), no debe ser buscada rápidamente en los archivos de datos, sino mediante metadatos de imágenes. En este estudio se emplearon imágenes gratuitas de la plataforma Google Earth Engine con el fin de localizar de manera precisa y eficiente la resolución espacial; el resultado demostró que el método experimental de dos consultas logró una precisión mayor que los métodos que utilizan información de cobertura terrestre.

Por su parte Marín V. Alba L, Álvarez H. Carlos F., Giraldo Carlos E, Uribe S. Sandra, desarrollaron un artículo en el año 2018 titulado, Análisis multitemporal del paisaje en el Magdalena medio en el periodo 1985-2011: una ventana de interpretación de cambios históricos e implicaciones en la conectividad estructural de los bosques, para el análisis multitemporal del paisaje del municipio de Puerto Berrío (Antioquia), para los años 1985, 2001 y 2011, para la metodología se utilizó información de los sensores remotos en un área de 15.000 ha. En los resultados se evidenció gran dinámica en la estructura y composición del paisaje y una alta heterogeneidad en el 2001, con tendencia a homogenización en el 2011. Se detectaron cambios “positivos” de pastos a rastrojos y bosques de 1985 al 2001, mientras que del 2001 al 2011 se evidenciaron pérdidas y fragmentación de bosques. La transformación se relacionó con el abandono de las tierras y el desplazamiento en las décadas de 1980 y 1990, así como con el posterior retorno y la reactivación de las actividades económicas en la década del 2000. Se estimaron unas rutas de conectividad potencial norte-sur entre los bosques de interés, mostrando alta fragmentación transversal en el paisaje. Artículo que se relaciona con el trabajo a desarrollar, porque lo más probable es utilizar imágenes de sensores remotos ya que aportan información detallada de las zonas.

En la metodología propuesta por (Díaz Varela, Cillero Castro, Díaz Varela, & Calvo Iglesias, 2018), se aplicaron técnicas de reconstrucción de imágenes de estructura a partir de movimiento (SfM), a partir de las cuales se obtuvieron una colección de fotografías RGB donde se logran obtener Modelos de Superficie Digital y orto-mosaicos; los resultados permitieron discriminar automáticamente los tipos de hábitat y la clasificación validó los datos tomados en campo de la cobertura vegetal.

En el artículo titulado Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático, la

metodología usada para lograr la discriminación óptima del cambio y estado de conservación de la vegetación, fue a través del análisis de imágenes satelitales LANDSAT 5, LANDSAT 7, ortofotos y fotografías aéreas a partir del año 1962 - 1966 hasta el año 2010 distribuidos en tres períodos; empleando procedimientos como la clasificación supervisada y el cálculo del Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI).

El resultado del análisis permitió evidenciar la pérdida de la nieve perpetua por influencia de la radiación solar. Se elaboró un mapa de vegetación y/o ecosistemas basados en el Sistema de “Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental” Para los períodos 1962-1966 y 2000 las imágenes que presentaron menor o ninguna presencia de nubosidad fueron utilizadas, mientras que las imágenes con alta nubosidad tuvieron que ser complementadas con imágenes de otros años; de tal forma que se pudiera contar con un mosaico de imágenes de la Reserva. Se realizó la clasificación supervisada de las imágenes para categorizar la cobertura vegetal, a base de las características de las celdas o píxeles y su similitud para la definición de las clases siguiendo las metodologías propuestas por (Arango, 2015). Al comparar los mapas se observó que la categoría Nieve disminuyó notablemente en esa transición de tiempo, es decir que en 49 años se redujo un 5,84% de la superficie ocupada, y se incrementó notablemente la categoría de Intervención llegando a ocupar un 9.54% del área de la Reserva de Producción de Fauna del área de estudio, este artículo guarda mucha relación con el proyecto a desarrollar ya que se utilizaron técnicas como clasificación supervisada y construcción de mosaico de imágenes por alta presencia de nubosidad. (Pamela A. Paula, 2018).

En el artículo titulado Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la amazonia, Colombia, el cual tuvo como objetivo general identificar si se han presentado procedimientos de fragmentación del paisaje y si estos han conllevado a procesos de degradación que se reflejen en la composición florística y estructural de

bosques de galería a escala local, la metodología implementada fue la selección de tres relictos boscosos que no habían presentado extracción de productos forestales en los últimos 30 años, alrededor de los cuales se estableció un área buffer de 10 km; sobre la cual se hizo un análisis multitemporal de las coberturas de la tierra para el periodo comprendido entre los años 1990 y 2016, empleando imágenes Landsat 4 para los años 1990, 1991, 1997 y 2000, imágenes Landsat 7 (ETM +) para el año 2002 e imágenes Landsat 8 para los años 2013 y 2016; todas estas disponibles en el servidor libre Earth Resources Observation and Science Center (Eros) del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

El procesamiento de las imágenes se realizó con el software Impact Toolbox versión 1.3.7 beta, en los resultados obtenidos, se identificaron cinco clases de cobertura quedando en evidencia la fragmentación de los bosques en el área de estudio, se reflejó en el mayor número de parches con menor área y en el aumento de la distancia entre los mismos, mientras que los pastizales se ampliaron aumentando su conectividad, metodología muy similar a la que se está utilizando en este estudio, ya que involucra el análisis multitemporal de áreas de imágenes satelitales Landsat. (Meza-Elizalde, M. C. y Armenteras, D., 2018).

A nivel nacional se encontró un trabajo de grado, en el año 2018 realizado por Gonzales A. Diego y Bareño P. John E., titulado Análisis multitemporal del cambio en el uso y cobertura del suelo en la zona de influencia de la mina Patio Bonito de la vereda el Municipio de Sibaté, Cundinamarca, el cual tuvo como objetivo determinar el impacto en el medio ambiente mediante el análisis multitemporal de las coberturas, la metodología utilizada fue la fotointerpretación de imágenes aéreas y satelitales de la zona, capturadas en diferentes años y se contrastó con las normativas vigentes en torno a la operación de la mina.

Se pudo obtener como resultado que la mina generó una baja en el rendimiento de los cultivos de la zona de estudio, ya que la disminución de esta cobertura decrece drásticamente a partir de la puesta en marcha de la producción minera; a pesar del cuidado de las fuentes hídricas y la restauración de la vegetación natural como lo demuestra el aumento en la cobertura de bosque alto abierto en la zona anteriormente deforestada por pastos enmalezados ubicada en el sur de la zona de estudio y el aumento en continuidad y área del bosque de galería que protege las rondas hídricas, asegurando que el cauce de los afluentes se proteja y conserve, salvo en el área del polígono de la mina donde este tipo de cobertura es mínima ya que los afluentes y nacimientos fueron intervenidos por la concesión 63 minera.

Por último, la disminución tampoco se pudo atribuir al cambio de cobertura a pastos, puesto que los pastos limpios y principalmente enmalezados presentaron una reducción a partir del año 2009, momento en el cual se dio inicio al funcionamiento de la mina. Finalmente, los incumplimientos en algunas de las normas del PBOT del municipio y el testimonio de los habitantes del sector sustenta esta conclusión, pues sus cultivos bajaron el rendimiento debido a la polución que ahoga las platas causada por la mina y la disminución del cauce de la quebrada conocida como El Tractor o Patio Bonito a partir del polígono minero, lo que se evidencia con el incumplimiento de sus franjas de protección contempladas en normas: Áreas periféricas a nacimientos, cauces de ríos, quebradas, lagunas y humedales en general, y en las zonas mineras; ya que de la quebrada obtenían el agua para regar sus cultivos, consumo propio y de animales. Gracias a la teledetección se determinó los diferentes cambios en los usos y las coberturas del suelo, apoyado en un análisis normativo se evidencio la falta de articulación y los efectos negativos generados por la operación minera en el sector aledaño a esta, este trabajo guarda una relación

estrecha con la investigación ya que se realizó análisis multitemporal por medio de las imágenes satelitales.

De igual manera se encontró un trabajo de grado realizado por Chaparro L. Heiner Y. en el año 2017, titulado Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de Paz de Ariporo, Casanare mediante el uso de sistemas de información geográfica, la metodología utilizada fue el análisis de series de tiempo por medio de un modelamiento a partir de datos, gráficas y mapas de cambios en la cobertura vegetal para dos momentos en el tiempo 1986 y 2016, mediante procesamiento en ambiente SIG. El análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal realizado para el municipio de Paz de Ariporo, Casanare, se basó en la asignación de unidades de cobertura de la tierra para toda su extensión mediante trabajo de campo como reconocimiento de las unidades presentes en el área de estudio y fotointerpretación de imágenes satelitales mediante la combinación de bandas, evaluando tonalidad o firma espectral propias de cada cobertura, el resultado obtenido fue que en la mayor parte del municipio se evidencia deforestación, lo cual es un fenómeno que orienta el ciclo del agua hacia la escorrentía y la evaporación, también se pudo evidenciar las zonas con cambios desfavorables ambientalmente son las que han sufrido modificaciones de tipo antrópico, como la deforestación y transición entre bosques y herbazales.

Además, se rastreó un trabajo de grado de Lucero M. Ligia, realizado en el año 2017, en el cual realizó un estudio de cambios de cobertura uso de suelo en la cuenca del río San Juan, dentro de la cual se realizaron siembras como parte de las actividades del programa establecidas en diferentes tipos de herramientas paisajísticas. Dentro de esta área de estudio se cuantificó la cobertura boscosa tomando como insumos información de los periodos de 2003 y 2016 suministrados por EARTH E EXPLORER; se utilizó el programa ArcGIS y se realizó una clasificación supervisada de las diferentes coberturas presentes en

el área de estudio de manera que permitiera realizar el análisis Multitemporal de las mismas. El análisis permitió observar los diferentes cambios de cobertura del área y a través de la herramienta ArcSwat, evaluar el impacto de la minería y su influencia en la producción de sedimentos, este trabajo se relaciona mucho con el trabajo de investigación actual, ya que se pretende realizar análisis multitemporal y a partir de allí determinar el comportamiento de diferentes variables.

En el proyecto, Sistema de Información para Detección de Crecientes Súbitas en la Cuenca del Río Manzanares en Santa Marta, Colombia, se basa en procesar los datos de equipos instalados para monitorear la humedad del suelo, precipitación y nivel de agua del río Manzanares como parte de un programa de alerta temprana de creciente súbita en la Cuenca del Río Manzanares en Santa Marta, Colombia, se utilizaron técnicas de investigaciones documentales y de campo con el fin de dimensionar el problema y desarrollar un sistema de información acorde a la problemática en estudio. En ese orden de ideas, en adelante se presenta la metodología llevada a cabo para el desarrollo del sistema de información, los resultados demostraron la importancia de los sistemas de información como herramienta para alertar a las comunidades en riesgo de inundación. (Quintero Wilmer, Robles Carlos A., 2017).

Se debe agregar que, Flórez Gloria Y, Yepes a, Rincón Alejandro, Santamaría b, Cardona c Pablo S, Alzate Angela M, Alvarez realizaron un artículo en el año 2017, titulado Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia, el análisis multitemporal se presentó en una zona con influencia de dos sistemas productivos principalmente: la ganadería y la minería y sobre la cual se presentan impactos ambientales significativos. La metodología partió de la utilización y digitalización de fotografías aéreas de los años 1998 y 2010 y una imagen tomada de Google Earth del año 2015 debidamente

georreferenciada, se trabajó con una escala 1:25000; así mismo, se utilizó el programa ArcGIS para el procesamiento de la información. El análisis tuvo como resultado, el cambio de las variaciones en las coberturas vegetales en el tiempo, la influencia de los sistemas productivos sobre las áreas boscosas, las áreas que han tenido procesos de recuperación y otras que con el tiempo desaparecieron, este trabajo se relaciona con el proyecto porque también se pretende realizar un análisis multitemporal con imágenes georreferenciadas y fotografías aéreas que permitan determinar la pérdida de la cobertura.

Con el pasar de los años se ha hecho evidente el incremento poblacional y urbano de forma acelerada y desordenada que ha sufrido el municipio de Santiago de Cali, tal fenómeno ha traído consigo el deterioro de la estructura ecológica municipal, lo cual condujo a la elaboración del trabajo de grado Análisis multitemporal de la expansión urbana del municipio de Santiago de Cali, este tuvo como metodología la cuantificación y delimitación del área de expansión del municipio por medio de imágenes satelitales Landsat de los años 1986, 1998 y 2014 obtenidas por medio del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Los resultados permitieron determinar las áreas de la cobertura Urbana para los años de 1986, 1998 y 2014, el parámetro utilizado para determinar la dinámica de cambios fue la ganancia y pérdida respecto al área que poseía cada clase en los diferentes años de estudio. (Jaramillo M. Diego F. 2016).

Debido al incremento de la minería ilegal de oro en el país en muchas regiones, (Mejía Ramirez, 2016), muestra como a través de técnicas de teledetección, como imágenes satelitales multiespectrales LANDSAT tomadas en diferentes años se lograron evidenciar los deterioros ambientales sufridos en el Bajo Cauca Antioqueño por causa de la minería ilegal a cielo abierto; las fotos (tomadas en los años 1986 y 2016), permitieron a través de un algoritmo de máxima verosimilitud clasificar la información, para

posteriormente aplicar los filtros que permitieron suavizar las imágenes y calcular la cobertura facilitando la interpretación de los datos.

Cabe anotar que, Velazquez M. Erbin, en el año 2016, realizó una Evaluación Socio-Económica y Valoración de Impactos Ambientales derivados de la Minería, desarrollada en el departamento del Chocó, específicamente en la cabecera municipal de Rio Quito (Paimadó), la metodología aplicada fue el desarrollo en tres fases: empírica, descriptiva y hermenéutica, las cuales contemplaron, la primera, la recolección y análisis de información primaria y secundaria, la segunda permitió el análisis de los impactos ambientales negativos de la minería y la tercera permitió definir las acciones destinadas a la cuantificación del parámetro de estudio, este trabajo tuvo como resultado datos sociales, económicos y del impacto que causa las actividades mineras en dicho territorio, este trabajo está muy relacionado con el proyecto, ya que la zona de estudio y la temática a tratar es la misma, la minería.

Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras, la metodología consistió en utilizar imágenes Landsat 7 y 8 disponibles en el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) de los años 2005 y 2016. Estas imágenes fueron sometidas a un proceso de clasificación, mismo que se dividió en tres partes: Pre procesamiento, procesamiento y pos procesamiento. Estas fases se llevaron a cabo por medio de diferentes herramientas de los programas ENVI 4.7® y ArcGis 10.3® y se explican más adelante, como resultado de la clasificación supervisada de las imágenes satelitales Landsat 7 y 8 correspondiente al año 2005 y 2016 respectivamente, se obtuvieron dos capas de usos y coberturas para el valle del Sico-Paulaya. Ambas capas contienen las categorías de bosque latifoliado, pastizales, agricultura, áreas urbanas, matorrales y cuerpos de agua, En el año 2016 es notable identificar la predominancia de las áreas agrícolas y de pastizales, mientras que en el año

2005 se observan principalmente áreas de bosque y de matorrales. El área con mayor cobertura vegetal en el año 2005 corresponde a los bosques latifoliado. Las coberturas de agricultura y pastizales poseen una gran extensión territorial debido a la necesidad de suplir alimentos para la población. Sin embargo, al comparar visualmente los mapas entre el año 2005 y 2016, se puede observar que las coberturas de pastizales y agricultura han reducido las áreas boscosas. (Santillán N. Daniel E., 2016).

En el trabajo elaborado por (Orozco Oñate & Valbuena Cely, 2016), se efectuó un análisis multitemporal para la mina de explotación a cielo abierto El Cerrejón, se tomaron 12 momentos de tiempo a partir de imágenes satelitales Landsat, exponen los cambios que se causaron al medio ambiente físico y social, siendo este un gran referente para el análisis de diferentes momentos donde enseña la transformación de terrenos relacionados al cambio de cobertura. Este documento describe como a través de un ambiente SIG se logra cuantificar el corte y relleno (Cut and Fill), y como a través de comparaciones entre dos modelos de elevación se puede calcular el movimiento de tierras. Un gran aporte ya que describe la forma como se utilizaron las imágenes satelitales y la combinación de bandas con el fin de obtener el resultado esperado que es estimar la cantidad de vegetación para cada momento objeto de estudio.

El proyecto Generación de un sistema de información geográfica que facilite el seguimiento a los salvoconductos forestales nacionales, (Martínez B. Yerly A., ZAMBRANO F. IVAN D., 2016). Tuvo como objetivo de Generar un sistema de información geográfica que facilite el seguimiento y control a los salvoconductos únicos nacionales para la movilización de especímenes forestales, la metodología se desarrolló en tres pasos, el primero fue Proponer el modelo de datos que de soporte al sistema de información además del desarrollo de los script para la gestión de registros, luego Utilizar las herramientas geoinformáticas necesarias para el desarrollo de la plataforma web, por ultimo Generar las

salidas graficas correspondientes como los mapas de ubicación de las rutas contempladas en los salvoconductos, el resultado de este estudio fue un sistema de información geográfica para la expedición de salvoconductos.

Hay que mencionar que Perea R. Laura D, en el año 2015, realizó un trabajo de investigación del “Análisis de las afectaciones socio- ambientales producto de la explotación minera aurífera en la parte central de la cuenca del río San Pablo, municipio del Cantón del San Pablo; departamento del Chocó” donde se identificaron, el estado actual de la parte central de la cuenca frente algunos componentes biológicos (agua, suelo, morfología, etc.) Y social, y su relación con el desarrollo de la actividad minera, paralelo al análisis e influencia que tienen los diferentes actores sociales frente a los impactos ambientales generados por la minería en la región.

La metodología utilizada partió con la revisión documental que permitió identificar y conocer la diferente información adelantada con anterioridad en diferentes universidades del orden nacional y de autores que permitieran enriquecer o fortalecer el marco conceptual, con ello, se logró identificar las variables de análisis para el desarrollo del objeto de investigación y seleccionar la metodología más adecuada para interpretar la información objeto del proceso investigativo. El desarrollo de este trabajo mostró como resultado las afectaciones socio-ambientales en la parte central de la cuenca del río San Pablo producto de la actividad minera aurífera. Este proyecto tiene gran relación con el trabajo a realizar, primeramente, porque la zona hace parte de la cuenca a analizar y segundo porque la temática a abordar es la misma.

El proyecto, Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en resistencia (Argentina), (Da S. Cristian J., Cardozo Osvaldo D., 2015) en este trabajo se plantea la utilización de técnicas de Análisis Multicriterio (EMC) y SIG (Sistemas de Información

Geográfica) a fin de identificar espacios potenciales para la ocupación residencial en la ciudad de Resistencia, núcleo urbano de más de 400.000 hab., con problemas en la proyección de su crecimiento espacial, debido a las características socio-ambientales del sitio, como resultado se obtuvo la buena capacidad del oeste y noroeste de la ciudad en albergar nuevas instalaciones residenciales, sobre la base de un análisis que contempla fundamentalmente aspectos ambientales y de accesibilidad.

Así mismo se rastreó un artículo de reflexión realizado por Parody Z. Auris Marcela y Zapata S. Eudes, realizado en el 2015, acerca del Análisis multitemporal, deforestación, fotografía aérea y censado remoto, el objetivo fue revisar los trabajos realizados en Colombia, que utilizaran el procesamiento de imágenes aéreas o satelitales, para el estudio de la deforestación en diferentes años. La metodología utilizada fue el censado remoto porque es el método de evaluación de la deforestación más usado en Colombia, tanto por instituciones del gobierno, como para las no oficiales. Esto porque permite realizar análisis a gran escala región/país, y es la herramienta más óptima para elaboración de mapas de usos de bosques, usos de suelos y cambios de cobertura. La fotografía aérea digital es una buena herramienta, para analizar áreas pequeñas. Este estudio tuvo como resultado que de los 20 trabajos revisados, 6 fueron elaborados por instituciones del gobierno, 16 de ellos utilizaron imágenes provenientes de sensores ubicados en plataformas espaciales y los 4 restantes corresponden al uso de fotografía digital aérea.

De igual manera se encontró un trabajo de grado realizado en el 2015 por Martínez Liseth, Ruiz O. Lissa M., titulado, Análisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007 - 2013 parque nacional natural Alto Fragua Indi Wasi, con la metodología Gentry (1982), a través de la conformación de un modelo de almacenamiento de información geográfica, la estandarización de sistemas de referencia y el procesamiento de imágenes satelitales, se proporcionó un entorno de interrelación de variables que facilitó

la caracterización del área correspondiente a las cuencas de los ríos Bodoquero y Pescado en cuanto al cambio de la cobertura vegetal.

Todo esto, representado en mapas temáticos y almacenados en un entorno de base de datos geográfico, facilitando la incorporación de nuevos resultados y permitiendo la realización de análisis espaciales multivariados. Adicionalmente se facilitó la integración de información de diversas fuentes como el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), el SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia), el ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales), entre otras organizaciones cuyos estudios aportan variables físicas, sociales, económicas y temporales que son significativas en los análisis de las causas de la pérdida de biodiversidad vegetal generada. Como resultado del trabajo de grado, se determinaron las áreas con cambios significativos en la cobertura vegetal (2007 y 2013) a través de análisis multitemporales de estudios realizados en el Parque Nacional Natural Alto Fragua Indi Wasi.

Los estudios realizados por (Ruiz, Savé, & Herrera, 2013) se basó en evaluar el cambio de uso del suelo en el Paisaje Terrestre Mira Flor Moro potente en el período 1993-2011, a través de imágenes satelitales, a fin de determinar el estado de fragmentación del paisaje. Los cambios de usos de suelo fueron derivados de la clasificación de tres imágenes Landsat TM, con una resolución espacial de 30 metros tomadas en febrero de 1993, abril de 2000 y enero 2011. Se realizó una verificación en campo para la identificación de coberturas de suelo y la verificación en las imágenes satelitales. La fragmentación se realizó con el cálculo de métricas e índices de fragmentación a nivel del paisaje. Los principales resultados muestran que los cambios de uso de suelo están determinados por la degradación antrópica, principalmente en la conversión de la vegetación nativa a espacios agrícolas y la expansión de la ganadería.

También, se encontró un trabajo de grado titulado Situación actual del sector minero en el departamento del Chocó e identificación de escenarios de desarrollo alternativos, realizado por Erwin David Gómez P, Anny Lucia Lozano D., Carlos Nabil Valencia R, en el año 2013, en el cual presentan un análisis del sector minero del Departamento del Chocó en el que se pretendía conocer la situación actual de la región y realizar un análisis prospectivo. Para ello, se analizó el comportamiento del sector en cuanto a producción, exportación, zonas mineras, inversión, beneficios generados, actores, entre otros componentes participes en el desarrollo económico y social del sector. La investigación se desarrolló en dos etapas; la primera correspondió a una contextualización del sector minero a nivel nacional y regional, de manera que permitiera conocer a profundidad el desarrollo de la actividad en los últimos años; el segundo fue un análisis prospectivo el cual estaba constituido por la aplicación de tres metodologías que son MICMAC, MACTOR y SMIC, las cuales se desarrollaron con el fin de determinar las variables claves del sector, los actores importantes en el sistema y los escenarios alternativos, este estudio tuvo como resultado pautas que ayudaran a aumentar el nivel de competitividad de la región y la atracción de inversionistas, este trabajo se relaciona con el que se va a realizar porque en ambos se pretende realizar análisis tendencial de variables de modo que permita modelar escenarios futuros.

Para el año 2013, se encontró un trabajo de grado realizado por Vargas G. Jessica A., titulado Análisis multitemporal de la cobertura del suelo en el departamento del Huila (Alto Magdalena, Colombia) en el cual tuvo como objetivo analizar la transformación reciente de la cobertura del suelo en áreas con altitudes menores a los 1800 msnm del departamento de Huila (Alto Magdalena, Colombia) para el periodo comprendido entre 1989 y 2012. La metodología utilizada fue la identificación y digitalización de 10 coberturas del suelo según la metodología CORINE Land Cover, se utilizó el programa ArcGIS 10.1, a

partir del cual se obtuvo el mosaico de coberturas del suelo. Se identificaron y describieron los patrones de cambio en las coberturas del suelo, y se analizaron los procesos de transformación de las coberturas boscosas, mediante el cálculo de métricas e índices del paisaje con la extensión Patch Analyst. Mediante la revisión de literatura secundaria se estableció la relación entre la toma de decisiones y los patrones de cambio de la cobertura del suelo. Como resultado se obtuvo que la cobertura con mayor representatividad fue la de Bosques; mientras que la cobertura de Zonas quemadas, para los tres años analizados (1989, 2001, 2012), fue la que ocupó menor área. Las métricas del paisaje mostraron que el número de parches disminuyó con el tiempo pasando de 366 parches (polígonos) en 1989, a 346 en 2012. Por su parte, los índices de diversidad e igualdad de Shannon mostraron para este estudio la diversidad de clases aumentó considerablemente entre 1989 – 2012; mientras que el de igualdad que denota homogeneidad paisajística, se mostró muy constante a lo largo de los años. Los patrones de cambio a nivel de paisaje presentados fueron de pérdida de la cobertura de bosques y aumento de la cobertura de pastos y tierra desnuda y degradada, lo que denota la fuerte intervención antrópica que se ha llevado a cabo, generando así la fragmentación y el desgaste de esta cobertura. La alta presencia de parches inferiores a 25 ha que la metodología Corine Land-Cover (escala 1:100.000) no tiene en cuenta, debe ser analizada en posteriores estudios, ya que indican que la toma de decisiones se está haciendo a escalas más detalladas, el trabajo citado se relaciona con el estudio en mención en el análisis de áreas y el establecimiento de agentes causantes del cambio de las coberturas.

También se encontró un artículo titulado “pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana san Luis (manizales)” en el que su principal objetivo era analizar multitemporalmente la producción de oxígeno en la cuenca san Luis donde se aplicó la metodología de procesamiento de la planimetría de

la cuenca de San Luis y se realiza un estudio a las imágenes aéreas; esta aproximación visual, se complementa con cartografía multitemporal, donde se evidencia la disminución de la estructura verde y por consiguiente, según el análisis realizado el cambio en el comportamiento del oxígeno aportado a la cuenca urbana o la pérdida del mismo, como una consecuencia del avance de la urbanización; los análisis mostraron que el porcentaje urbanizado fue de 8,54%, el forestal de 61,69% y el de herbáceos de 29,76%, en el año de 1955 se aumentó al 39,71% el porcentaje urbanizado, disminuyendo a su vez el porcentaje forestal al 33,35% y el de herbáceos al 29,76%, lo que indica la acelerada y drástica expansión del área urbana en el sentido occidente oriente de la ciudad, según se aprecia también en la cartografía y las aerofotografías.

En los años 1955 a 2003, la curva de crecimiento continúa, con tendencia de subida suave, respecto a los años anteriores con un 8%. Mientras que entre los años 1944 a 1955 se observa que la urbanización creció un 40%, diferente a la tendencia de los últimos 50 años. Algunos autores expresan que el desplazamiento de la población ocupó las cabeceras municipales de las ciudades en la zona cafetera (Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Urbanismo, 2008); además el estudio muestra que la proyección, ha aumentado un 5% por año en porcentaje urbanizado desde el 2010. (Álvarez Del Castillo & Agredo Cardona, 2013)

Por su parte, Hernández R. (2012) desarrolló un trabajo cuyo objetivo fue analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central años 1987 Y 2006 mediante un análisis multitemporal de las dinámicas de cambio sobre la cobertura de la tierra durante un intervalo de tiempo de 18.22 años. Se utilizó dos imágenes satelitales, la metodología utilizada fue la interpretación y clasificación digital no supervisada de la cobertura del suelo donde se identificaron las principales coberturas del suelo existentes en ambos años, se logró la clasificación en siete clases para dos. Los

resultados muestran que, en el primer período analizado, más del 50% de las clases establecidas en la clasificación no supervisada sufrieron pérdidas en su área, investigación que coincide y se relaciona con el estudio a desarrollar ya que se pretende realizar un análisis multitemporal mediante la fotointerpretación de imágenes satelitales de diferentes años para establecer una tendencia de crecimiento en áreas degradadas por actividad minera.

Se encontró un trabajo de grado titulado, “Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del distrito central años 1987 y 2006” presentado por Olga Patricia Hernández Rodríguez en Honduras, el principal objetivo de este trabajo fue analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal del Municipio del Distrito Central mediante análisis multitemporal de las dinámicas de cambio sobre la cobertura de la tierra durante un intervalo de tiempo de 18.22 años. Se utilizó dos imágenes satelitales TM y ETM+, años 1987 y 2006 obtenidas por los sensores Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+, la metodología utilizada fue la interpretación y clasificación digital no supervisada de la cobertura del suelo donde se identificaron las principales coberturas del suelo existentes en ambos años, se logró la clasificación en siete clases para dos .Bosque de Coníferas, Bosque Mixto y Matorrales.La Cobertura no Vegetal hace referencia a las clases: Suelo Desnudo, Cuerpos de Agua y Urbano. Los resultados muestran que desde el año 1987 al 2006, más del 50% de las clases establecidas en la clasificación no supervisada sufrieron pérdidas en su área, estas son: Bosque Latifoliado 1,443.93 ha, Bosque Mixto 3,043.20 ha, Bosque de Coníferas 38,383.16 ha, Suelo Desnudo 4,702.16 ha; en las clases restantes Matorral, Cuerpos de Agua y Urbanos ocurrió incrementó en sus áreas respecto al valor que poseían en el año 1987 con: Matorral 35,788.50 ha, Cuerpos de Agua (embalses Los Laureles y La Concepción) 2,495.70 ha y Urbano 9,288.27 ha; por último se determinó que las clases asignadas a la categoría Cobertura Vegetal en el intervalo de 18 años sufrieron pérdida de

7,081.8 ha, este valor se convirtió en ganancia durante el mismo intervalo de años para la Cobertura no vegetal. (Rodríguez, 2012).

En este artículo se destaca la utilidad de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sensores remotos para la detección efectiva de alteraciones ambientales y predicción de futuros escenarios (P. , M., R., & E., 2009). En este estudio se analizaron cambios en el uso de suelos provocados por acciones antropogénicas en el Estuario de Santos (Brasil). La aplicación de técnicas como clasificación supervisada en imágenes de satélite del área de estudio y el posterior análisis multitemporal de las mismas fue imprescindible para establecer cambios en los patrones de usos de suelos en un lapso de 7 años. La utilización de estas técnicas facilita la identificación de áreas vulnerables y por ende la posibilidad de realizar pronósticos de tendencias que resulta de gran utilidad para un control efectivo de las actividades antropogénicas en el área. El pronóstico de tendencias se realizó mediante la aplicación de funciones de “fuzzy sets” y análisis multicriterio (MCA) basados en una serie de factores y restricciones que caracterizan y describen el área de estudio.

Puede agregarse que en el artículo titulado Análisis de las tendencias de cambio del bosque de mangle del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava, México. Una aproximación con el uso de imágenes de Satélite Landsat, el objetivo principal fue analizar las tendencias de cambio de manglares del sistema lagunar Teacapán-Agua Brava a través de análisis multitemporales con imágenes MSS, TM y ETM+ del satélite Landsat, para los años 1973 al 2000. La metodología utilizada fue la producción de mapas temáticos de los humedales del sistema, la estimación de un coeficiente de Kappa (K'), la utilización del manglar y el cálculo del área del mangle muerto, como resultado obtuvieron que la tasa de deforestación media anual de 1973 al 2000 fue del 30%, resultado que asociaron a evidencias de perturbación de la cobertura de manglar con la apertura del canal de Cuautla en 1971 y el

posterior proceso de erosión, pero las mayores tasas de deforestación y disminución del dosel coincidieron con el incremento en la presencia de infraestructura tal como canales, bordes, estanquería y caminos construidos sobre los humedales, trabajo que se relaciona con el estudio a realizar porque se trata de un análisis multitemporal en el tiempo. (Berlanga-Robles, CA, Ruiz-Luna, 2007).

Por otro lado, se encontró un proyecto titulado “Monitoreo de cambios en la cobertura vegetal del santuario de flora y fauna de iguaque y su área de influencia, entre 1986 y 2014, empleando software libre de código abierto” en donde se llevó a cabo un análisis de los cambios en la cobertura vegetal del santuario y su área de influencia, a través del uso de algoritmos de clasificación semi-automática en software libre de código abierto. Para el análisis se obtuvieron dos imágenes Landsat, correspondientes a los años de 1986 y 2012, y a través del plugin asociado al software libre QGIS, para la clasificación semi-automática de coberturas, se obtuvo una aproximación a los cambios que se han dado a través del tiempo y que obedecen a los diferentes factores de presión. (Cárdenas Chávez, 2007).

También se encontró un artículo denominado Análisis multitemporal de cambios de uso de la tierra en San Fernando, Tamaulipas, durante el periodo 1987 a 2017, este tuvo como objetivo evaluar el cambio del uso de la tierra(CUT) en el municipio, el método utilizado fue la clasificación por segmentación de imágenes satelitales, de los años 1987, 1997, 2007 y 2017, las imágenes segmentadas fueron clasificadas utilizando el Clasificador de Máquina de Vectores de Soporte (SVM, por sus siglas en inglés: Support Vector Machine), entrenado con algunos polígonos de las áreas de estudio.

El clasificador SVM se seleccionó considerando su capacidad de manejar imágenes segmentadas y su baja susceptibilidad a un número dispar de polígonos de entrenamiento, según el Instituto de Investigación sobre Sistemas Ambientales, el método de clasificación

por segmentación de imágenes Landsat permitió evaluar detalles a nivel de parcelas, en el cambio de uso de la tierra (CUT), aunque los objetos pequeños fueron asimilados por áreas homogéneas de mayor tamaño, ese inconveniente pudo ser subsanado mediante su recuperación manual y posterior edición, además, permitió reducir el ruido característico de la clasificación basada en píxeles. Sin embargo, fue necesario editar los resultados, para recuperar los asentamientos humanos, eliminar nubes y sombras, y reducir los efectos de confusión entre cobertura vegetal y zonas agrícolas con cultivos presentes, para evitar introducir CUT artificiales en las estadísticas obtenidas. Como resultado obtuvieron una tendencia en la reducción de la cobertura vegetal, también se observó un importante incremento en el uso, en conclusión, el estudio permitió establecer que en el municipio de San Fernando, Tamaulipas, en los últimos 30 años, la frontera agrícola creció un 7.61 %, y la cobertura vegetal se redujo 6.53 %, sin una asociación clara con el incremento en asentamientos humanos (+0.08 %), este estudio se relaciona con el presente trabajo porque se va a realizar un análisis multitemporal con imágenes Landsat y se va a utilizar herramientas de clasificación de coberturas. (Salinas C., Wilver E, et al, 2007)

De igual modo, se encontró un artículo titulado Modificación del algoritmo random forest para su empleo en clasificación de imágenes de teledetección, El objetivo de esta investigación fue modificar el algoritmo Random Forest para evitar el problema de estimación interna de exactitud mediante una forma de validación cruzada y obtener una estimación de la exactitud más realista, la metodología empleada fue que la hipótesis realizada y el nuevo algoritmo se contrastan mediante la clasificación de coberturas del suelo de una imagen del satélite Landsat 5 del 24 de julio de 2009. Como resultado se tuvo que al aplicar el algoritmo original, este subestima claramente el error de clasificación. Sin embargo, con el algoritmo modificado se obtiene un error global de clasificación muy parecido al obtenido con una validación independiente del algoritmo; además, su capacidad

de predicción no disminuye. Al comparar por clases se constata que, con el algoritmo modificado, los errores por clases obtenidos del out-of-bag son equivalentes a los de una validación cruzada, mientras que al emplear el algoritmo original son muy inferiores (Cánovas G., et al, 2016)

También se encontró un trabajo de grado titulado Clasificación de uso actual de territorio con la leyenda de IPCC nivel 1, aplicando el algoritmo RANDOM FOREST, en un tramo de la carretera a la laguna Cashibococha, distrito Yarinacocha en el año 2016, el principal objetivo fue clasificar el tipo de cobertura y uso del territorio, generar muestras de entrenamiento de forma manual en las coberturas identificadas para la clasificación del uso actual de territorio, la metodología empleada fue la clasificación supervisada y no supervisada orientada a objetos, se escogieron 7 clases y se clasificaron las coberturas con el modelo random forest, donde se escogieron muestras de entrenamiento para enseñarle al modelo a reconocer las diferentes clases de coberturas, y se calculó del índice de kappa para validar la eficiencia de la clasificación realizada, en los resultados obtenidos se validó la exactitud de la clasificación del uso actual de territorio, lo cual permitió medir el grado de confiabilidad de la clasificación, obteniendo una precisión en la matriz de confusión de 0.97 y un índice de kappa de 0.96, con una fuerza de concordancia de kappa en la clasificación dentro del rango de CASI PERFECTO. (Montesinos Kiper, Tuesta Gerardo 2017)

De igual manera, se encontró un artículo titulado, Estimación de la deforestación en bosques tropicales húmedos y secos en Madagascar de 2000 a 2010 utilizando imágenes satelitales Landsat multifecha y el clasificador de bosques aleatorios, el cual tuvo como objetivo principal evaluar los cambios en la cubierta forestal tropical, la metodología se desarrolló usando un software libre de código abierto (R, GRASS y QGIS), se descargaron las imágenes Landsat con menor presencia de nubes, se recolectaron datos de parcelas de entrenamiento, se ejecutó el algoritmo de clasificación en un enfoque estadístico original

que combina observaciones de cobertura terrestre de varias fechas basadas en imágenes de satélite y el clasificador de bosques aleatorios, como resultado se obtuvo que la cobertura terrestre estable y la cobertura terrestre cambio tienen magnitudes de precisión significativamente diferentes. Al desarrollar un análisis de detección de cambios, se deben hacer esfuerzos especiales, hecho para registrar la precisión de la clase de cambio el estratificado procedimiento de validación de muestreo sistemático presentado en este estudio fue particularmente ambicioso (más de 30.000 puntos observados), ya que se quería obtener estimaciones independientes y estadísticamente válidas. Incluso con este intenso esfuerzo de interpretación visual, solo se obtuvieron algunos cien puntos que caían dentro de las categorías de deforestación.

En este sentido, el mapa de la FCC producido en este estudio se consideró coherente, ya que la máxima cambio registrado fue una disminución del 30% en la tasa de deforestación entre los dos periodos estudiados en este trabajo. (Grinand Clovis, Gond Valéry et al, 2013)

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Determinar la degradación del ecosistema de la cuenca del Río Quito, producida por diferentes actividades antrópicas en un lapso de cinco años mediante sensoramiento remoto y herramientas SIG.

5.2. Objetivos específicos

- Identificar fenómenos que afectan o alteran el ecosistema de la cuenca del Río Quito.
- Calcular las áreas afectadas en un lapso del 2015 al 2019 con una temporalidad bianual de los fenómenos identificados en la cuenca del Río Quito.
- Elaborar la cartografía temática del área de estudio donde se evidencie el área afectada.
- Establecer planes de acción para la conservación del área de estudio.

6. Referente Contextual

El área de estudio es la cuenca hidrográfica del río Quito que se encuentra localizada en la parte suroccidental del departamento del Chocó, esta cuenca posee una superficie de 166.889,0 hectáreas; su división político administrativa está constituida por un accidente orográfico delimitado naturalmente, está afectado por los límites políticos de los municipios de Atrato, Istmina, Cértegui, Unión Panamericana, Río Quito y Cantón del San Pablo. (Figure 1)

Los títulos colectivos de comunidades negras presentes en la cuenca son: Mayor del cantón san pablo "ACISANP", Mayor de unión panamericana, San Isidro, Paimadó, Villa Conto, Río Baudó Acaba, Istmina y parte del medio san juan, Consejo organización popular campesina del alto Atrato – "COCOMOPOCA", Cértegui, Consejo comunitario integral de Iloro, Mayor del alto san juan "ASOCASAN", Mayor del medio Atrato ACIA. (Tabla 5,Tabla 6)

Las formaciones geológicas predominantes en la zona son Formación Quibdó con un área de 37.553,2has, correspondientes al 22,5%, seguido de Auríferas con un área de 29.002,4has, correspondiente al 17,4%. (Figure 2), el clima predominante en la zona es el Cálido húmedo.

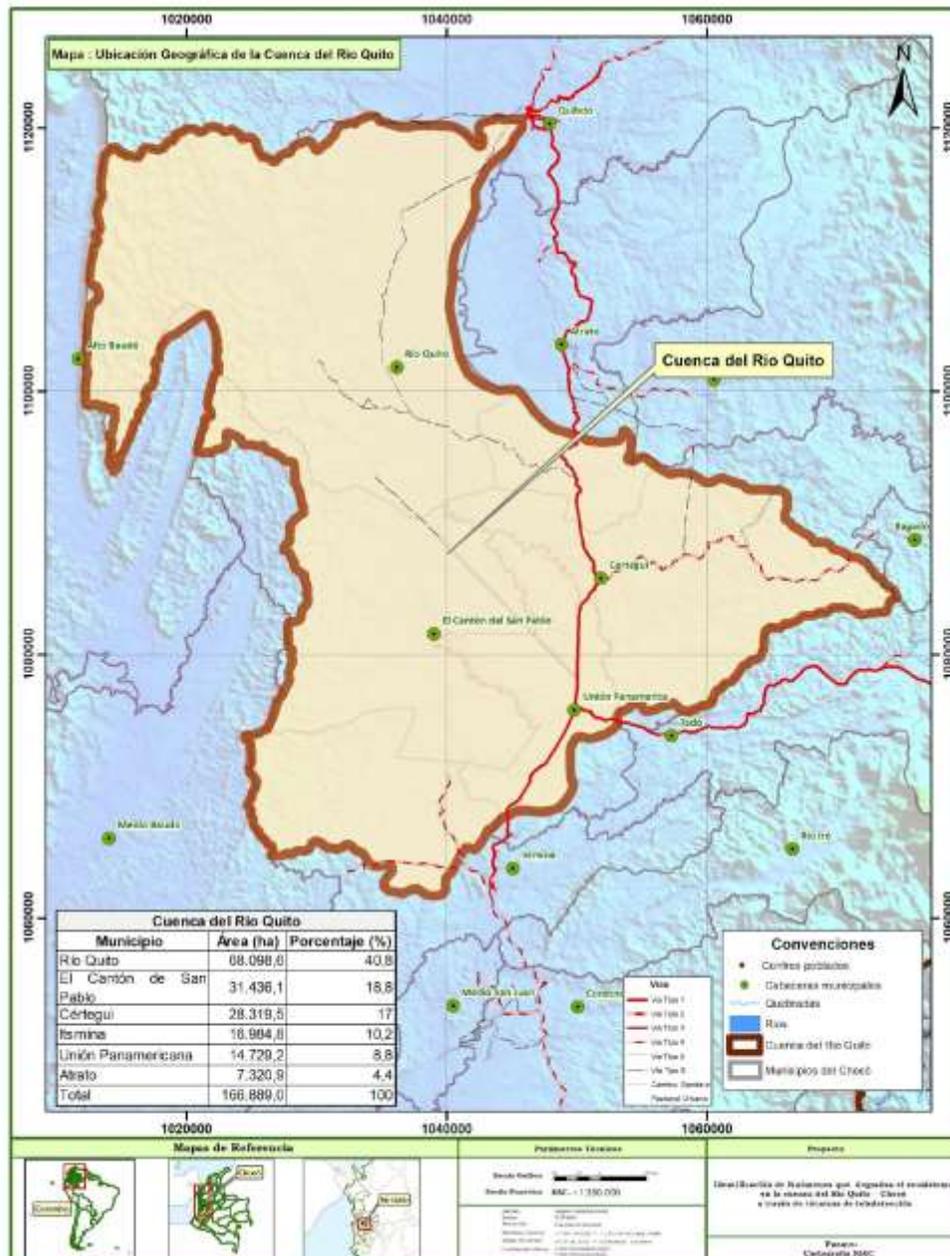


Figure 1. Zona de estudio - Cuenca del río Quito

Fuente: IGAC,

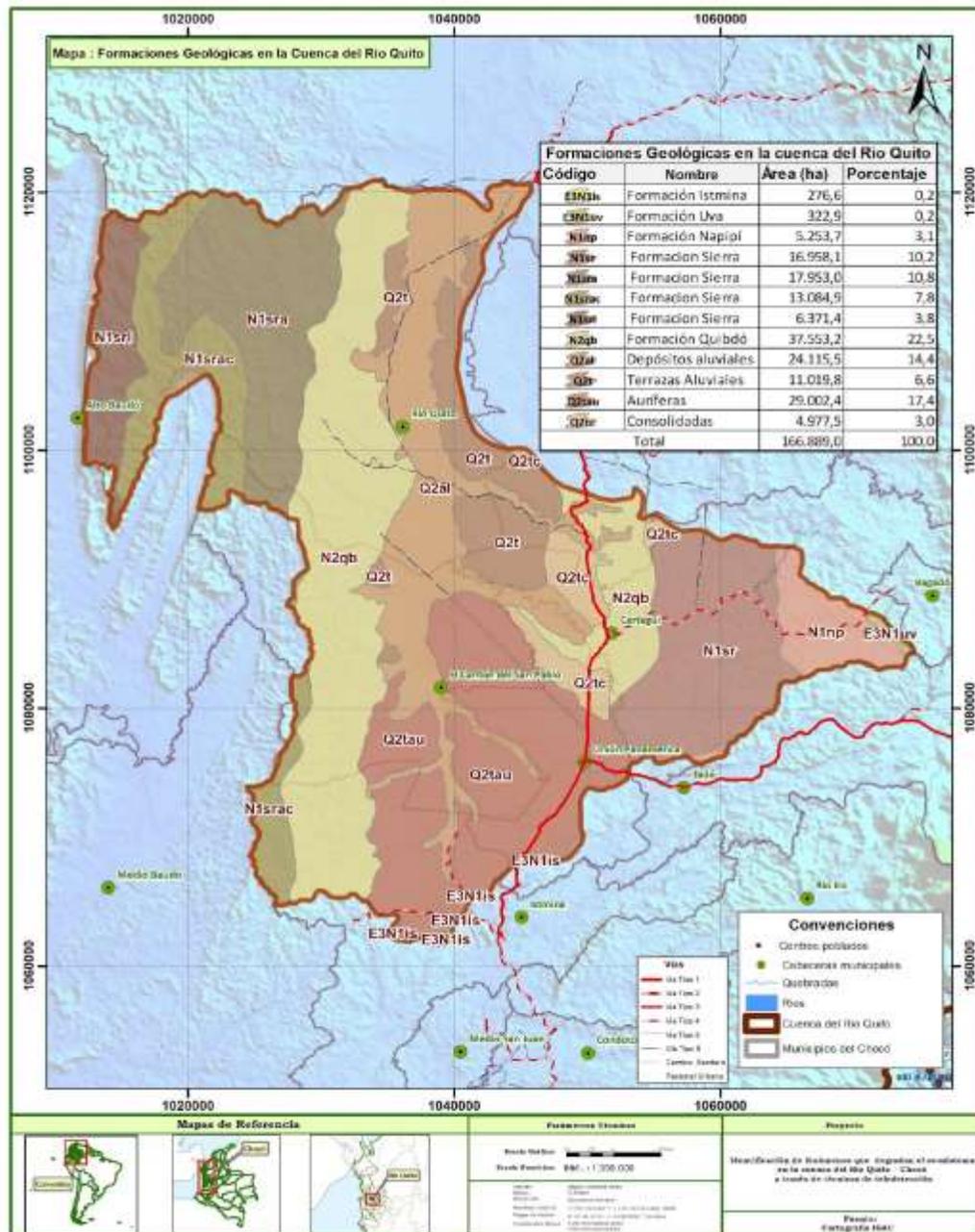


Figure 2. Formaciones Geológicas en la cuenca del río Quito

Fuente: IGAC,

7. Referente Normativo y legal

Con el “Plan Nacional de Desarrollo Minero y Política ambiental Visión Colombia 2019”, se visualiza o proyecta a nuestro país como “Minero”, con el propósito de alcanzar no solo el desarrollo económico sino también social del país. Para el año 2001, el Congreso de la República aprobó la ley 685, conocida por todos como el Código de Minas, el cual se encuentra vigente a la fecha y pocas reformas ha tenido en su articulado.

Como antecedente de este reglamento minero, tenemos que para su elaboración el estado estuvo asesorado por una firma de abogados que por cierto eran los mismos quienes venían representando a la mitad de las compañías mineras inscritas en el registro minero nacional y para completar además dicha asesoría también estuvo a cargo de empresas canadienses, quienes tenían grandes intereses en nuestro territorio, con ello podemos sopesar al interior de las normas una debilidad manifiesta al respecto. No obstante, debemos decir que dicha normatividad declaró la minería como una “actividad de utilidad pública y de interés social”

Con el Código de Minas de 2001 se eliminó los tipos de minería que existía y obligó a los pequeños y medianos mineros a competir en las mismas condiciones que las grandes empresas. Se anunció la penalización e inhabilitación del minero que se rehusara a legalizarse, otorgando un plazo de tres (3) años, contados a partir del 1 de enero de 2002, para requerir el título minero.

La Ley 99 de 1993 expone: Artículo 2 “Créase el Ministerio del Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y los recursos naturales renovables, encargado de (...) definir, en los términos de la presente ley, las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección,

ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales y el medio ambiente de la nación...”.

El artículo 5: “Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente: 1. Formular la política nacional relacionada con el medio ambiente y los recursos naturales renovables. Las Corporaciones son “las encargadas por ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y propender por su desarrollo sostenible...” Artículo 23 y numeral 2 del artículo 31. Las funciones del Departamento, Municipios y Distritos, están circunscritas en los artículos 64 y 65 respectivamente de la Ley 99 de 1993.

Decreto N° 3930 de 2010 por el cual se reglamenta el uso de agua y residuos líquidos (aguas residuales) y otras disposiciones. (Rodríguez 2017). (Figure 3).

NORMA	CONCEPTO
Decreto 2636 de 1994 Ley 685 de 2001 Decreto 2390 de 2002	Área Identificación Temática Relacionada con Minería e Ilegalidad Minera Código de Minas, Ley minera aplicable en Colombia a partir de 2001. Legalización minera de hecho 2001.
Decreto 2653 de 2003. Por el cual se reglamenta el artículo 63 de la ley 685 de 2001. Ley 1382 de 2010. Modificación al Código de Minas Ley 685. Decreto 2715 de 2010	Asignación de peritos para determinar interferencias entre título minero y legalización. Declarada Inexequible. Vigente hasta mayo 2013. Legalización minera tradicional 2010
Sentencia C-366. Corte Constitucional Regalías. Ley 141 de 1994 Ley de regalías. Ley 756 de 2002. Modificación de la ley 141 de 1994. Ambiental Decreto – ley 2811 de 1974	Declaración Inexequible la Ley 1382 de 2010. Se crea el Fondo Nacional de Regalías y la Comisión nacional de Regalías. Se establecen criterios de distribución de las Regalías. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección al Medio Ambiente. Creación del MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del Medio Ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA.
Ley 99 de 1993 Ley 388 de 1997 Ley 1333 de 2009 Ley 373 de 1997 Ley 430 de 1998 Ley 21 de 1991 Ley 70 de 1993 Convenio OIT 169 Penal Ley 599 de 2001. Artículo 333 Ley 1453 de 2011 Artículo 36. Convenio 027 de 2007 PND. Ley 812 de 2013 Ley 1151 de 2007 Ley 1450 de 2011 PND Minero 2002-2006 PND Minero 2007 -2010	Ley de desarrollo Territorial. Modificada la ley 9 de 1989, y la ley 2 de 1991 Establece el procedimiento sancionatorio ambiental Establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua Normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos Social. Se aprueba convenio OIT 0169 Política para comunidades afro colombianas Convenio sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes. Eleva sanciones por contaminación por extracción Minera e Hidrocarburos. Eleva sanciones por contaminación por extracción Minera e hidrocarburos. Convenio Interinstitucional MME- MAVDT- Ingeominas – procuraduría- Fiscalía Plan Nacional de Desarrollo 2002 – 2006 Plan Nacional de Desarrollo 2006 – 2010 Plan Nacional de Desarrollo 2010 -2014 Plan Nacional de Desarrollo Minero 2002 – 2006 Plan Nacional de Desarrollo Minero 2007 – 2010

Figure 3. Normatividad en el sector minero

Fuente: Rodríguez 2017

7.1. Antecedentes Normativos.

En 1988 el código de minas abordó en el país una primera definición de los tamaños y escalas de la minería, clasificándolos en minería pequeña, mediana y gran escala; definidas por la cantidad de mineral extraído, capacidad instalada, empleo y grado de mecanización.

Los titulares de la pequeña minería solo presentaban un informe final de explotación y el Programa de Trabajos e Inversiones, las comunidades indígenas y negritudes tenían el derecho de prelación sobre la explotación de sus territorios. Exoneradas de regalías e impuestos.

La ley Minera de 1988 ya regulaba las actividades en trabajos distintos de aluvión y márgenes de los ríos, los mineros podían hacer sus explotaciones con mini dragas de hasta 8 pulgadas y motobombas de hasta 16 HP, sin requerir título minero, solo estar inscritos en la alcaldía y con algunas excepciones.¹

En 1993, el **Decreto 2222**, Reglamento de Higiene y Seguridad en las Labores Mineras a Cielo Abierto, establece los parámetros para la preservación y control, la **Ley 141 de 1994** realizó un primer intento para legalizar los mineros que hubiesen realizado actividad hasta noviembre de 1993 y el **Decreto 2636 de 1994** reglamentó el programa de legalización de minería de hecho como “*las personas que, sin título vigente, lleven a cabo explotaciones de depósitos y yacimientos mineros*”.

¹ Fuente: https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_2655_de_1988.pdf

En 1997 el **Plan Nacional de Desarrollo Minero** cambia el concepto de escalas de la minería por grupos; minería de pequeña y mediana escala por G1 Minería de Subsistencia o informal, G2 Minería Depredadora y G3 Minería Organizada.²

En el año 2001 sale en nuevo **Código de Minas - Ley 685**, en la cual se introducen figuras de reserva especial y definió explotaciones pequeñas y de poca profundidad relacionada con la minería ocasional, realizadas con herramientas simples, (MIN. Minas 2014), este no contempla la minería de cúbcos y no la incluye en ninguna categoría por consiguiente se considera minería ilegal.³

El **Artículo 306** del código de Minas, contempla la “Minería sin Título”; con el cual los alcaldes pueden suspender cualquier tipo de explotación que no posea título inscrito en el Registro Minero Nacional, la omisión del alcalde lo hará acreedor de sanción disciplinaria por falta grave.

Artículo 307 Perturbación, el beneficiario de un título minero podrá solicitar ante el alcalde amparo provisional para que se suspenda inmediatamente la ocupación, perturbación o despojo de terceros que la realice en el área objeto de su título.

8. Referente teórico

8.1. Minería en Colombia

En Colombia la mayoría de actividades extractivas de minerales se realiza de manera artesanal y bajo nivel tecnológico, utilizando métodos mineros que no permiten

² Fuente: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/412670/plan.pdf>

³ Fuente: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2001/ley_0685_2001.pdf

optimizar el aprovechamiento de los recursos, y que en su proceso no se implementan medidas de manejo ambiental para prevenir afectaciones de los recursos naturales, e incluso, como en el caso de la extracción de Minerales Metálicos, se utilizan productos químicos contaminantes como el mercurio y el cianuro, que sin los adecuados controles generan un alto riesgo de afectación a la vida silvestre y a la salud humana.

Las actividades mineras, dependiendo del mineral y del tipo de extracción, pueden ocasionar afectaciones al recurso hídrico de muchas maneras; desde la contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, pasando por la alteración de los flujos de agua superficiales y subterráneos, hasta la utilización de volúmenes de agua significativos, que pueden representar de manera directa o indirecta afectaciones en la disponibilidad hídrica para el consumo de personas y comunidades aledañas a los proyectos, o la utilización en otras actividades económicas agrícolas y ganaderas. (Ayala M. Helcias et. al. 2016)

Una gran cantidad de tierras de los municipios que hacen parte de la cuenca del Río Quito ha sido bastada por el ejercicio de la actividad minera, cambiando el uso del suelo, quedando los grandes daños causados por esta práctica ilegal, y sus efectos no han podido ser restaurados, dejando manifiesta la evidencia el impacto causado por el ejercicio de dichas actividades (Tabla 1), a la fecha no se observa la regulación del uso de la tierra, ya que los esquemas de ordenamiento territorial se encuentra desactualizados.

Tabla 1. Efectos potenciales de la minería

SISTEMAS	COMPONENTE AMBIENTAL	DESCRIPCION DE IMPACTOS
----------	----------------------	-------------------------

Abiótico	Terrestre	<ol style="list-style-type: none">1.Cambio morfológico del terreno2.Incremento en los procesos erosivos3.Modificación del paisaje4.Contaminación por inadecuada disposición de residuos5.Contaminación por inadecuada disposición de aceites combustibles y materiales pétreos6. Pérdida del potencial del suelo
Atmosférico		<ol style="list-style-type: none">1.Emisión de material particulado2.Emisión de sustancias toxicas3.Incremento en la emisión de gases por parte maquinaria asociada a la minería.4.Incremento en los niveles de ruido por maquinarias, motobombas y planta de operación eléctrica
Hídrico		<ol style="list-style-type: none">1.Generación de vertimiento de aguas residuales2.Desestabilización de cauces y deteriorar la calidad del agua3.Incremento de los sólidos en la calidad del agua de los cauces4.Alteración o modificación de la geometría de los cauces5.Colmatación y degradación de la fuente hídrica. Obstrucción del cauce por disposición de material estéril-

Biótico	Terrestre	<ol style="list-style-type: none">1. Pérdida de la cobertura vegetal y descapote por procesos de excavación.2. Impacto por remoción de cobertura vegetal, que causa pérdida de hábitat y biomasa.3. Alteración de la fauna en las zonas de protección ambiental.4. Afectación a la flora por la remoción de la cobertura vegetal.5. Afectación al paisaje natural de las zonas por actividad extractiva.5. Disminución del recurso ictiológico.6. Aporte de sedimentos en fuente hídrica
Antrópico	Socioeconómico	<ol style="list-style-type: none">1. Afectación a la salud por actividades de las personas en general por actividad minera.3. Readequación de áreas intervenidas.4. Beneficio a la población.5. Afectación por predios a intervenir.6. Afectación de tránsito vehicular y peatonal. (familiares)

Fuente:(Rodríguez 2017)

8.2. Sistemas de información geográfica

Son sistemas informáticos que utilizan información local, nacional, tal como números de lotes, información catastral, coordenadas de latitud y longitud. Un SIG puede mapear cualquier información almacenada en planillas o bases de datos, que tengan un componente geográfico que permita ubicarlos en el espacio; los SIG pueden incorporar en un mismo mapa diversas variables como por ejemplo cartas de suelos, datos climáticos,

vegetación y cultivos, algunos de esos datos provienen de las imágenes satelitales. (scanterra, 2015).

Un sistema de información Geográfica también se puede definir como el conjunto de hardware, software, datos geográficos y personal capacitado, que organizados logran recoger, capturar, almacenar y analizar la información. (Martinez Graña, y otros, 2012), para lograr que esta información sea presentada geográficamente. Un SIG constituye una base de datos espacial que permite conocer el comportamiento de fenómenos mediante consultas y análisis de información a través de una representación espacial y sus atributos asociados.

Algunos de los software empleados en este tipo de análisis son Arcgis, Qgis, Envi, gvSIG, Whitebox TAG, SAGA GIS, GRASS GIS.

8.3. Georreferenciación y Proyección:

La Georreferenciación y Proyección es definida por el “Datum”, que define el origen y la orientación de las líneas de latitud y longitud, existen datum de tipo local cuyo fin primordial se ubica próximo a la supervise de la tierra, y datum de tipo global que se ajusta al centro de masa de la tierra, por lo tanto, si modificamos el sistema de representación, las coordenadas de un punto cambian, en Colombia se adoptó este año un nuevo sistema de proyección cartográfico con un único origen llamado “origen único”; las especificaciones técnicas se establecieron a partir de normas y estándares internacionales provenientes de la International Organization for Standardization (ISO) y de la Asociación Americana de Fotogrametría y Percepción Remota (ASPRS), este único sistema de referencia MAGNA-

SIRGAS, pretende facilitar el uso de la información y minimizar las ambigüedades posibles equivocaciones tanto dentro como fuera del país.

8.4. Teledetección

La teledetección o percepción remota es la ciencia y el arte de obtener información acerca de un objeto, área, o fenómeno a través del análisis de datos adquiridos por un dispositivo que no está en contacto con el objeto, área o fenómeno bajo investigación (Lillesand et al., 2004). En su definición, se abarca no solamente a la adquisición de información sino también su posterior procesamiento, el cual es realizado para obtener información física y biológica de los objetos de estudio proveniente de las imágenes.

La información es capturada a partir de una serie de imágenes de la superficie terrestre o marina tomadas desde sensores instalados en las plataformas espaciales, por lo tanto, en esta técnica no se está en contacto directo con los objetos, así que el flujo de información se produce a través de la radiación electromagnética emitida o reflejada por todos los objetos y cuerpos conocidos. La intensidad y tipo de radiación emitida depende en gran cantidad de la temperatura a la cual se encuentren los cuerpos, siendo el sol el mayor generador del sistema solar cuya radiación es reflejada en los objetos encontrados en la tierra que es la que se utiliza comúnmente en la teledetección.

Tomado de: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/indices-gallery.htm>

La radiación electromagnética es representada a partir de longitudes de ondas continuas que permiten establecer una serie de bandas, donde el valor y comportamiento

de las ondas son similares, lo que se denomina como espectro electromagnético, estos valores espectrales pueden ser relacionados con características superficiales de los cuerpos permitiendo una identificación, caracterización y clasificación de los objetos encontrados en la imagen. (Figure 4)

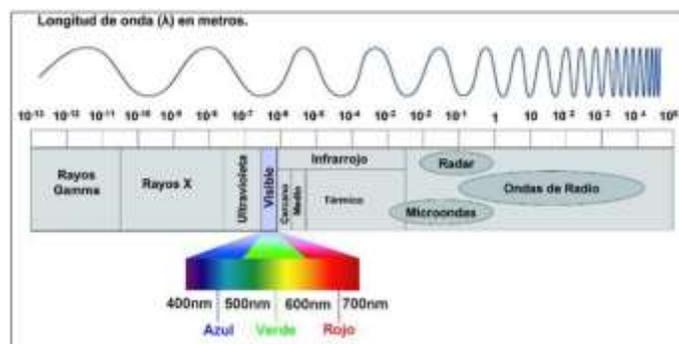


Figure 4. Espectro electromagnético

Fuente: Lillesand et al., 2004

8.5. Naturaleza de la Radiación electromagnética

El flujo de energía entre el objeto y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética, que es la forma en que se transfiere la energía en los sistemas de teledetección (Jensen, J. 1996). La transferencia de energía es el proceso de propagación de calor en distintos medios, en general se reconocen tres procesos de transferencia de energía:

Convección: Proceso de transferencia de calor entre dos sustancias líquidas, gaseosas o una líquida y otra gaseosa que ocurre cuando estas se encuentran a diferentes temperaturas debido a la agitación térmica de sus moléculas, pero sin existir un desplazamiento de estas de una sustancia a otra.

Conducción: Fenómeno de propagación de calor entre dos cuerpos que se encuentran a diferente temperatura a partir de la agitación térmica de sus moléculas sin que se produzca transferencia de materia entre ellos.

Radiación: Trasmisión de energía a partir de una fuente que emite hacia todas direcciones, es transportada por las ondas electromagnéticas o fotones por lo cual recibe el nombre de radiación electromagnética y es producida por cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La radiación puede ser transmitida en el vacío por lo que a diferencia de las otras formas de transferencia de energía no necesita un medio natural para propagarse de hecho la transferencia de su energía se genera mejor en el vacío pero su velocidad, intensidad y dirección de propagación se ven afectados por presencia de materia en el medio, este proceso es casi de manera exclusiva la forma en que el sol transfiere energía a la tierra por lo tanto es la más importante cuando se habla de sensores remotos.

La radiación electromagnética tiene un comportamiento predecible asociado a la teoría cuántica, se conforma de dos campos fundamentales que se desplazan a la velocidad de la luz y permiten el transporte de energía de un lugar a otro, estos son:

Campo eléctrico: Este determina la dirección de la radiación que está incidiendo ya que viaja en dirección perpendicular a ella teniendo también una magnitud variante.

Campo magnético: Este campo está orientado a los ángulos rectos al campo eléctrico, es decir es transversal y señala siempre el sentido de la propagación.

8.6 Imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales multitemporales son la representación visual de la información capturada por un sensor de un satélite artificial, y son de mucha utilidad para la identificación y monitoreo de los elementos del medio ambiente y su dinámica ecosistémica. Las imágenes se han convertido en una herramienta ventajosa para la evaluación y el seguimiento de cualquier elemento sobre la superficie terrestre y de su comportamiento en lapsos determinados de tiempo, infiriendo los factores determinantes en los cambios que se presenten en la cobertura terrestre. (De la Cruz B, Muñoz 2016)

8.6 .1 Imágenes Satelitales Lansad

Imágenes Landsat 8: son imágenes que están compuestas por 7 bandas multiespectrales que van desde niveles visibles hasta el infrarrojo medio, con una resolución de 30 metros, en la mayoría de ellas. Las principales aplicaciones de estas imágenes se centran en la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación, mapas hidrotermales y estudios multitemporales (Soluciones Integrales en Geomática, 2016).

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento. Entre las principales mejoras técnicas respecto de su antecesor, el satélite Landsat 5, se destaca la adición de una banda espectral (Banda Pancromática) con resolución de 15 metros. También, cuenta con mejoras en las características geométricas y radiométricas y una mayor resolución espacial de la banda

térmica para 60 m. Estas imágenes son empleadas en aplicaciones agrícolas, forestales, usos de suelo, hidrología, recursos costeros, monitorización medioambiental y exploración geológica. En el campo de la geología se aprovecha la cobertura global de estas imágenes y las bandas espectrales en la región visible e infrarrojo de onda corta para el cartografiado de zonas con presencia de óxidos y/o arcillas. Además, cuenta con una banda en rango de 0.78 -0.90 μm que permite la interpretación estructural del terreno. (INGEMMET 2020)

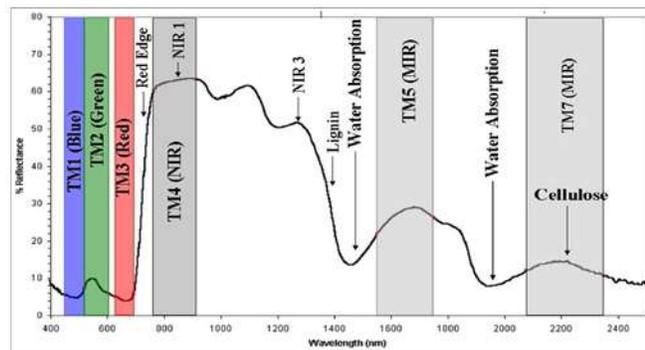


Figure 5. Bandas espectrales del sensor Landsat

Fuente: INGEMMET 2020

A las imágenes del satélite Landsat 8 se incorporan dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado (Figure 5, Figure 6). La descripción detallada de las características que proporciona información más detallada sobre la presencia de características como las nubosidad, agua y nieve (IGAC, 2013).

Banda	Landsat 5		Landsat 7		Landsat 8	
	Ancho(μm)	Resolución (m)	Ancho(μm)	Resolución (m)	Ancho(μm)	Resolución (m)
Coastal	No existe	-	No existe	-	0,43-0,45	30
Blue	0,45-0,52	30	0,45-0,52	30	0,45-0,51	30
Green	0,52-0,60	30	0,52-0,61	30	0,53-0,59	30
Red	0,63-0,69	30	0,63-0,69	30	0,64 -0,67	30
NIR	0,76-0,90	30	0,78-0,90	30	0,85-0,88	30
SWIR 1	1,55 -1,75	30	1,55 -1,75	30	1,57 -1,65	30
SWIR 2	2,08 -2,35	30	2,09 -2,35	30	2,11 -2,29	30
Pan	No existe	-	0,52 -0,90	15	0,50 -0,68	15
TIR	10,40-12,50	30	10,40-12,50	30	No existe	-
Cirrus	No existe	-	No existe	-	1,36 -1,38	30
TIRS 1	No existe	-	No existe	-	10,6 -11,19	100
TIRS 2	No existe	-	No existe	-	11,5 -12,51	100

Figure 6. Características de una imagen Lansad

Fuente: IGAC, 2013

8.7 Cobertura de la tierra

La "Cobertura" de la tierra, es la cobertura (bio) física que se observa sobre la superficie de la tierra expresada en términos de vegetación, elementos antrópicos existentes sobre la tierra, superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua (Di Gregorio, 2005), en un término amplio no solamente describe la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la tierra, sino que también describen otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua. (Ideam, 2014)

8. 8 Análisis multitemporal

Es el análisis de tipo espacial que se realiza mediante la comparación de las coberturas interpretadas en dos o más imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar en diferentes fechas y permite evaluar los cambios en la situación de las coberturas que han sido clasificadas. Como los meses del año y los años entre si difieren en sus características climáticas, un análisis multitemporal es mucho más amplio que el análisis de una sola imagen. (scanterra, 2015).

8.9 Estimación de la exactitud de una clasificación: Matriz de contingencia

La clasificación multiespectral de imágenes satelitales se usa para extraer información temática de manera semiautomática (Riaño, 2002). En la clasificación digital se obtiene una nueva imagen donde a cada uno de los píxeles de la imagen original se le asigna una clase o leyenda. Esta clasificación puede ser de dos tipos: no supervisada y supervisada (Lillesand et al, 2014).

La diferencia fundamental entre los dos tipos de clasificación es que en la no supervisada el analista define el número de clases y posteriormente las interpreta y en la supervisada, el analista interpreta y selecciona las clases. Después de una selección de muestras o firmas de entrenamiento, los sistemas clasificadores requieren algoritmos paramétricos (en función de parámetros adicionales al comportamiento de las firmas) y no paramétricas (sólo en función de las firmas) para asignar los píxeles de la imagen a las clases determinadas. Entre estos algoritmos figuran los espacios de características como regla de decisión no paramétrica y la paramétrica de distancias mínimas (Franco & Rodríguez, 2005)

Ninguna clasificación puede considerarse completa hasta que su grado de exactitud sea evaluado. Este puede definirse como el grado de concordancia entre las clases asignadas por el clasificador y sus ubicaciones correctas según datos de suelo recolectados por el usuario y considerados como datos de referencia los datos de entrenamiento, este procedimiento conduce a sobreestimar la exactitud de la clasificación.

Este procedimiento constituye en realidad sólo una evaluación de la calidad de selección de las áreas de entrenamiento.

El instrumento más usual para evaluar la exactitud de una clasificación es la matriz de confusión, también llamada matriz de error o de contingencia. Esta es una matriz cuadrada de $n \times n$, donde n es el número de clases. Dicha matriz muestra la relación entre dos series de medidas correspondientes al área en estudio. La primera serie corresponde a datos de referencia adquiridos de observaciones de campo, inspección de estadísticas agrícolas, interpretación de fotos aéreas y otras fuentes similares. La segunda corresponde a la categorización de los píxeles realizada por el clasificador para las clases de interés. (Teledet)

En una matriz de confusión las columnas corresponden a los datos de referencia, mientras que las filas corresponden a las asignaciones del clasificador (Lizzi, et al. 2007). Las medidas de exactitud mencionadas, solo se basan en resultados parciales de la matriz, por lo tanto, no aprovechan todos los datos en su totalidad, a su vez se toman resultados aleatorios, que pueden llevar a interpretaciones sesgadas del método. Para corregir los tipos de exactitud, se utiliza el “Coeficiente Kappa” (LI et al., 2009).

Este coeficiente, propuesto por Jacob Cohen en 1960 (DOU et al., 2007), es un estadístico que mide la concordancia de dos metodologías. Es utilizado para ver la similitud de dos clasificaciones de imágenes, (LI et al., 2009; DOU et al., 2007). De acuerdo al valor, éste índice se puede categorizar en seis clases (Figure 7) según Cerda & Villarroel (2008), de acuerdo a esta clasificación se puede rechazar o aceptar la nueva clasificación a evaluar.

Rango	Concordancia
0	Nula
0.01 – 0.02	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 - 1.00	Casi perfecta

Figure 7. Rango de concordancia de validación para el coeficiente Kappa

Fuente: Cerda y Villarroel, 2008

9 Cuencas hidrográficas

Según (EcuRed, 2019) las cuencas hidrográficas son aquellas que hacen que el agua que proviene de las montañas o del deshielo, descienda por la depresión hasta llegar al mar. En algunos casos, la cuenca puede no alcanzar el nivel del mar si se trata de un valle encerrado por montañas, en cuyo caso la formación acuífera será una laguna o lago.

9 .1 Características de las cuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas están subdivididas en tres características las cuales se detallan a continuación.

La curva cota superficie: esta característica es además una indicación del potencial hidroeléctrico de la cuenca.

El coeficiente de forma: da indicaciones preliminares de la onda de avenida que es capaz de generar.

El coeficiente de ramificación: también da indicaciones preliminares respecto al tipo de onda de avenida.

9 .2 Principales cuencas hidrográficas

Las cuencas se clasifican en tres tipos: Cuencas endorreicas: son aquellas que las aguas no llegan al mar, que tienen como resultado la formación de sistemas de agua estancada (como lagos o lagunas).

Cuencas exorreicas: son aquellas que drenan sus aguas al mar o al océano y que por lo tanto no quedan encerradas entre los diferentes conjuntos de montañas.

Cuencas arreicas: son aquellas en que las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desaguan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia. También son frecuentes en áreas del desierto del Sahara y en muchas otras partes. (EcuRed, 2019)

9 .3 Partes que forman una cuenca

Cuenca alta: que corresponde a la zona donde nace el río, el cual se desplaza por una gran pendiente.

Cuenca media: la parte de la cuenca en la cual hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión.

Cuenca baja: la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.

Las cuencas, sean endorreicas, exorreicas o arreicas pueden generar un gran número de afluentes que caen todos en el curso de agua principal, ya sea: Mar, Océano, Lago o Laguna.

Al mismo tiempo, a medida que esos afluentes se acercan a su destino final van perdiendo la intensidad original que tenían al comenzar su curso de descenso. (EcuRed, 2019).

Por otro lado, la Gestión Integral del Recurso Hídrico define la cuenca hidrográfica como la unidad fundamental de análisis para el desarrollo de los procesos de planificación y administración. Definido mediante el Decreto 1076 de 2015, título 3, sección 5, coherente con la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico –PNGIRH (2010). La gestión y administración integrada del recurso hídrico acorde al manejo de Cuencas Hidrográficas, se realiza considerando los siguientes aspectos:

Planificación: Se propenderá porque los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas y la normatividad, se constituyan en instrumentos que permitan la sostenibilidad del recurso, implementando esquemas de articulación interinstitucional y procesos de fortalecimiento institucional.

Gestión en el Uso y aprovechamiento del recurso: Abarca el diseño de diferentes instrumentos y herramientas que permitan actualizar y fortalecer la administración efectiva del recurso, buscando garantizar los niveles de cantidad y calidad necesarios para los

diferentes usos de la sociedad, adelantando para el efecto mecanismos de uso eficiente y ahorro del agua y de evaluación y seguimiento que permitan ajustar, mejorar y actualizar los esquemas de planificación y gestión.

Prevención y Control de la Contaminación Hídrica: Se busca garantizar los niveles de calidad del agua teniendo como referente el establecimiento de objetivos de calidad y su relación con la disponibilidad hídrica, la promoción del reúso y la aplicación de instrumentos económicos, entre otros.

Planes Departamentales de Agua: Buscan impulsar la participación de las Autoridades Ambientales en el desarrollo de las diferentes fases de los planes, de tal forma que se tenga en cuenta los impactos sobre el recurso, priorizaciones y la gestión, bajo la concepción de cuenca hidrográfica.

Gestión del Riesgo: Se busca establecer lineamientos, políticas, regulaciones e instrumentos financieros para la inclusión del riesgo ante la presencia de diversas amenazas asociadas tanto en el aspecto de cantidad como de calidad del agua. (MINAMBIENTE, 2020)

9 .4 Randon forest

Random Forest es un método versátil de aprendizaje automático capaz de realizar tanto tareas de regresión como de clasificación. También lleva a cabo métodos de reducción dimensional, trata valores perdidos, valores atípicos y otros pasos esenciales de exploración de datos. Es un tipo de método de aprendizaje por conjuntos, donde un grupo de modelos débiles se combinan para formar un modelo poderoso.

En Random Forest se ejecutan varios algoritmos de árbol de decisiones en lugar de uno solo. Para clasificar un nuevo objeto basado en atributos, cada árbol de decisión da una clasificación y finalmente la decisión con mayor “votos” es la predicción del algoritmo. (Tomado de: <https://aprendeia.com/aprendizaje-supervisado-random-forest-classification/>)

9 .5 Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma en la nube para realizar análisis científicos que permite el análisis y visualización de datos geoespaciales a escala global. El procesamiento de datos geoespaciales en la nube es gratuito para investigación, educación y para usos sin ánimo de lucro.

Esta plataforma también proporciona dos API gratuitas: API de JavaScript y API de Python para realizar el análisis de grandes conjuntos de datos, permite el acceso a las funciones que nos permiten analizar imágenes satelitales. La descarga de imágenes es gratuita y brinda un almacenamiento en la nube de 15gb.

Earth Engine aloja imágenes históricas terrestres desde hace más de cuarenta años. Las imágenes, recopiladas diariamente, se ponen a disposición del público para realizar minería de datos a escala global.

El acceso al catálogo de datos incluye imágenes Landsat de EROS (Earth Resources Observation and Science) (USGS / NASA), numerosos conjuntos de datos MODIS, datos Sentinel 1, 2, 3 y 5P, datos NAIP (National Agriculture Imagery Program), datos de precipitación, datos de temperatura de la superficie del mar, datos climáticos de

CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) y datos de elevación. (<https://mappinggis.com/2021/12/motivos-para-comenzar-a-trabajar-con-google-earth-engine/>)

10. Hipótesis de investigación

A través del análisis espacial y el buen manejo de las herramientas SIG se puede determinar la tasa de deforestación en la cuenca de Río Quito. Por ende se recolectaron datos en campo e imágenes satelitales en Google Earth Engine, se utilizó la metodología de Random Forest para clasificar las clases de coberturas donde a través de la observación espacial se pudo determinar el estado de degradación de la cuenca del río Quito, validando la clasificación supervisada a través de una matriz de confusión donde se obtuvo un nivel de confianza del 72%..

11. Metodología

11.1. Enfoque metodológico

La investigación se ubicó en un modelo práctico y factible, apoyado en documentos obtenidos en campo por entidades gubernamentales competentes como La Corporación Autónoma Regional del Chocó “CODECHOCÓ”, se dirigió hacia el estudio de posibles problemas ambientales y sociales derivados de la práctica de diferentes actividades en la zona, especialmente la minería.

Esta investigación se sustenta en sitios web y documentos donde se encuentran datos divulgados por medios de comunicación haciendo mención a los problemas en la zona.

La información recolectada corresponde a resultados de estudios derivados de problemas sociales donde se espera ampliar y profundizar en la naturaleza de la problemática.

A manera de síntesis, se puede decir que los procesos utilizados para el desarrollo de esta investigación son: La descarga de imágenes satelitales de la zona y confrontación de los resultados de las áreas degradadas por diferentes actividades antrópicas en la zona de estudio, con informes de uso y utilización del suelo en diferentes actividades.

11.2. Tipo de estudio

El tipo de estudio es el correlacional el cual se utiliza para determinar en qué medida dos o más variables están relacionadas entre sí. En este caso se determinará en que se relaciona la información colectada en campo, con el cambio de coberturas y la degradación de las áreas en la cuenca del río Quito.

11.3. Diseño de la investigación

La información recolectada para este trabajo fue obtenida por medio de visitas a campo realizadas en 2019, con estas se pretendió recolectar información sobre las zonas con presencia de coberturas boscosas y actividad minera, también se consultó información social, económica y laboral de algunos actores de la cuenca del río Quito, con el fin de consolidar una línea base para el diseño e implementación de planes acorde a las características de la población.

Se recolectaron 97 coordenadas, en los recorridos de campo con GPS Garmin Montana, con el sistema de referencia WGS84 con origen Magna Sirgas Origen Oeste, de los lugares con presencia de actividad minera.

Las imágenes satelitales se obtuvieron de sitios web gratuitos y seguros, uno de los que presenta gran cantidad de información y uso relativamente sencillo, es “**USGS Earth Explorer**”, permite cargar shapefile o kml con la delimitación del área del proyecto, necesarios para la búsqueda de los conjuntos de datos , este portal presenta una interfaz sencilla, lo cual la hace amigable permitiendo encontrar conjuntos de datos utilizando varios criterios de búsqueda como fecha, porcentaje de nubosidad, hora de adquisición, entre otros; los cuales sirven para ver en años pasados como era el cauce del río y la cobertura vegetal.

11.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Los datos fueron recolectados a través de visitas a campo y recorridos a lo largo y ancho de sitios estratégicos de la cuenca del río Quito, además de la información de las encuestas realizadas donde se ubica la zona de estudio.

El período de tiempo propuesto para el estudio son los años 2015 y 2019, en todos los años se optó por escoger las mejores imágenes que evidenciaran claramente los tipos de cobertura que permitieron generar una discusión sobre los cambios en ella y el cauce del río Quito.

La situación actual de la zona se consultó en la página del SIGOT la cual relaciona información sobre gestión minero-ambiental del país de forma ágil, efectiva y confiable, se

logró consultar y confirmar el estado de los Títulos y/o solicitudes vigentes en la cuenca del río Quito.

11.5. Descripción metodológica

Para el desarrollo de este proyecto se revisó la disponibilidad de las imágenes satelitales de la zona de estudio en el portal del servicio geológico USGS, Earth Explorer, ArcGIS Earth y Google Earth engine, se realizó el cálculo del índice de kappa, se llevó a cabo una revisión de antecedentes en los EOTs de los municipios que conforman la cuenca del río Quito, en documentos públicos de la Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito; se revisaron estudios previos realizados por el IIAP y otras entidades, se utilizó el modelo Random Forest para la clasificación y cálculo de las coberturas y el software arcgis para la elaboración de los mapas finales. (Ver Figure 27)

11.5.1. Plan de análisis

Paso 1, Primer Objetivo:

Fase 1:

Para la identificación de fenómenos que afectan o alteran el ecosistema en la cuenca del Río Quito se consulta la información de la UNODC y estudios previos realizados por el IIAP, la corporación Autónoma Regional del Chocó “CODECHOCÓ”, y otras entidades que realizan investigación en la zona.

Paso 2, Segundo Objetivo:

Fase 1:

Se realiza el entrenamiento del modelo Random Forest y se estima su precisión y desempeño tanto en la etapa de entrenamiento como en la etapa de validación del modelo. Posteriormente, después de comprobar un desempeño aceptable en el modelo, son

clasificadas las imágenes satelitales teniendo en cuenta la clasificación de las coberturas empleadas en la metodología corine land cover. (Figure 8)

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
2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	3.2.1.1. Herbazal denso
2.1. Cultivos transitorios	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
	3.2.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado

Figure 8. Leyenda metodología Corine Land Cover

Fuente: Ideam 2010

Fase 2:

Se realiza una comparación de los cambios de cobertura con la herramienta análisis multitemporal del software Arcgis donde se evalúan los cambios de cobertura en el periodo comprendido entre los años 2015 y 2019, donde se evidencian las zonas críticas.

Paso 3, Tercer Objetivo:

Fase 1:

Con los 97 datos recolectados en campo en noviembre de 2019, se ubican las áreas afectadas dentro de la zona de estudio para constatar y verificar la coincidencia de las áreas en la imagen con la información obtenida en campo.

Fase 2:

Realizar la cartografía temática de la cuenca del río Quito donde se evidencia el área afectada por diversas actividades.

Paso 4, Cuarto Objetivo Específico:

Fase 1:

A través de información secundaria se realiza un análisis cualitativo tomando los datos de la sentencia T 622 de 2016 y los planes de desarrollo de los municipios que conforman la cuenca del río Quito.

Fase 2:

Se procede a plantear alternativas que mitiguen las consecuencias derivadas de la explotación de los recursos ecosistémicos sin control. (Utilizaría el objeto de análisis multi criterio)

12. Resultados Obtenidos

El área de estudio es la cuenca del río Quito, ubicada en la parte central del departamento del Chocó en las coordenadas (Table 2. Coordenadas Cuenca Rio Quito), conformada por 7 municipios (Tabla 3).

Table 2. Coordenadas Cuenca Rio Quito

Punto	Ubicación	Latitud	Longitud
1	Sur	5° 9' 14,441" N	76° 43' 16,551" W

2	Norte	5° 40' 51,390" N	76° 53' 33,286" W
3	Occidente	5° 26' 51,656" N	76° 56' 44,281" W
4	Oriente	5° 21' 27,514" N	76° 24' 23,457" W

Fuente: IGAC

Tabla 3. Municipios que hacen parte de la cuenca de Río Quito

Municipio	Área (ha)	Porcentaje (%)	
Río Quito	68.098,60	40,8	
El Cantón de San Pablo	31.436,10	18,8	
Cértegui	28.319,50	17	
Itsmina	16.984,80	10,2	
Unión Panamericana	14.729,20	8,8	
Atrato	7.320,90	4,4	
Total	166.889,00	100	

Fuente: IGAC

12.1. Identificación de fenómenos que afectan o alteran el ecosistema en la cuenca del Río Quito

Para la identificación de fenómenos que afectan o alteran el buen funcionamiento de los ecosistemas en la cuenca del río Quito se consultó la sentencia T622 de 2016 la cual fue una acción de tutela interpuesta por las comunidades étnicas a las entidades gubernamentales propendiendo por detener el uso intensivo y a gran escala de diversos métodos de extracción minera y de explotación forestal ilegales, que incluyen maquinaria pesada dragas y retroexcavadoras y sustancias altamente tóxicas como el mercurio en el río Atrato (Chocó), sus cuencas, ciénagas, humedales y afluentes, que se han venido intensificando desde hace varios años y que están teniendo consecuencias nocivas e irreversibles en el medio ambiente, afectando con ello los derechos fundamentales de las comunidades étnicas y el equilibrio natural de los territorios que habitan.

Además, en la página 9, numeral 2.3 se afirma que los aprovechamientos mineros ilegales que se realizan en el río Atrato, sus afluentes y territorios contiguos, que para 2013 según datos de Codechocó - la autoridad ambiental regional se estimaron en 200 entables mineros y aproximadamente 54 dragas en operación, se caracterizan por la extracción de metales preciosos, en especial oro y platino, para lo que se emplean distintas modalidades de explotación con maquinaria pesada.

De igual manera se menciona que la primera forma de actividad ejercida en la zona fue la minería aluvial que permite la extracción directa de metales del lecho de los ríos por medio de dragas de succión y aplicación de mercurio; la segunda forma es la minería de veta a cielo abierto por medio del uso de retroexcavadoras que levantan grandes capas de tierra, dando con ello espacio a perforaciones profundas en las que se utiliza también el mercurio para lograr la separación del mineral.

También, en el numeral 2.5 señala, que la explotación forestal se caracteriza por la utilización de maquinaria pesada, de sustancias químicas para inmunizar la madera y por la construcción de canales artificiales para el acarreo de la misma, acciones que han puesto en peligro de extinción a las especies vivas de la zona - tanto vegetales como animales y han cambiado el curso natural de los ríos - afectando sus ciénagas y humedales, lo que implica graves consecuencias para la subsistencia de las colectividades allí asentadas.

Finalmente, en el numeral 2.6 de la sentencia dice que a pesar de los varios llamados de urgencia al gobierno nacional, incluido el de la Defensoría del Pueblo que en septiembre de 2014 declaró una emergencia humanitaria y ambiental en el departamento del Chocó, resulta altamente preocupante que las instituciones estatales competentes, entre ellas la Presidencia de la República y los Ministerios de Salud, Ambiente, Minas, Agricultura, Vivienda, Educación, Defensa, el Instituto Nacional de Salud y los departamentos de Chocó y Antioquia, entre otros, no hayan realizado acciones integrales para enfrentar y dar solución a esta grave situación que amenaza la calidad de las aguas del río Atrato, sus principales afluentes, la existencia de sus bosques y de su población. (Sentencia T622 de 2016)

En el informe reportado por la Oficina de las naciones unidas contra la droga y el delito “UNODC”, para los años 2016, 2017 y 2018 se reporta la presencia de cultivos ilícitos en 3 de los 10 consejos comunitarios de las comunidades negras que hacen parte de la cuenca del río Quito, la mayor área reportada fue la del consejo comunitario Mayor de Istmina y parte del medio san juan, con 26.90ha en 2016 y 17.97ha en 2018, seguido del consejo comunitario Mayor del Alto San Juan “Asocasan”, aportando una extensión equivalente a las 16,4 hectáreas en el año 2017, posteriormente, para el año 2018 continuó su participación con un área de 8,44 hectáreas (UNODC 2018).

12.2. Cálculo de las áreas afectadas en un lapso del 2015 al 2019 con una temporalidad bianual de los fenómenos identificados en la cuenca del Río Quito

12.2.1. Recolección de datos

Para el cumplimiento de este objetivo se optó por acceder a varias plataformas que permiten descargar imágenes satelitales gratuitas y de buena calidad, una vez realizada la investigación se decidió utilizar las imágenes de la plataforma Google Earth Engine ya que disponía de la mejor resolución en imágenes, de todas las demás consultadas.



Figure 9. Imagen Lantsad 8 de 2015

Fuente: Google Earth Engine



Figura 10. Imagen Lantsad 8 de 2019

Fuente: Google Earh Engine

Una vez escogidas las imágenes de la zona con menor presencia de nubosidad se ejecutó un lenguaje de código en Google Earth Engine donde se utilizó la función TOA para la respectiva corrección atmosférica, se aplicó la función punto media para enmascarar nubes, sombras en las imágenes landsat TOA, se utiliza la imagen original para eliminar las sombras y nubes y obtener imágenes mejoradas con el objeto Cloud Masks. (Figure 9, Figura 10)

Una vez corregidas las imágenes representativas para cada periodo de tiempo con la menor cantidad posible de espacios faltantes por presencia de nubes se procedió a realizar la clasificación de las coberturas para poder determinar posteriormente como ha sido su comportamiento en el tiempo.

12.2.2. Clasificación de las coberturas

Para realizar la clasificación, se utilizó el nivel 3 de la descripción de la leyenda de la metodología Corine Land Cover para unificar criterios y tener la misma clase de cobertura en las dos imágenes (Figura 11), fue necesario apoyarse en los datos georreferenciados en campo, los cuales fueron obtenidos en visitas realizadas a campo, se pudo obtener 97 coordenadas, estas se capturaron a lo largo de la cuenca de la

siguiente manera, en sitios estratégicos con presencia de áreas degradadas por actividad minera 44 puntos, 18 puntos en zonas boscosas, 4 coordenadas en áreas de Bosques densos, 3 en zonas urbanas, 7 en fuentes hídricas y 18 en suelos desnudos, 13 en zonas de pastos, todo esto con el fin de contrastar con las zonas clasificadas en la imagen satelital. (Figure 12).



Figura 11. Nivel 3 de la leyenda de la metodología Corine Land Cover

Fuente: IDEAM 2010

FID	Shap	Id	CobertPosi	Municipio	Latitud	Longitud
0	Point	0	Bosque	Certegui	5° 25' 14,047" N	76° 38' 24,825" W
1	Point	0	Bosque	Certegui	5° 24' 44,997" N	76° 38' 50,628" W
2	Point	0	Bosque	Certegui	5° 24' 30,981" N	76° 38' 23,781" W
3	Point	0	Area urbana	Rio Quito	5° 29' 1,555" N	76° 44' 18,574" W
4	Point	0	Bosque	Atrato	5° 27' 50,410" N	76° 41' 0,983" W
5	Point	0	Bosque	Rio Quito	5° 28' 5,933" N	76° 43' 17,778" W
6	Point	0	Bosque Denso	Rio Quito	5° 28' 3,260" N	76° 42' 55,448" W
7	Point	0	Bosque	Rio Quito	5° 27' 54,606" N	76° 43' 9,787" W
8	Point	0	Bosque	Rio Quito	5° 26' 51,229" N	76° 44' 19,870" W
9	Point	0	Bosque Denso	Rio Quito	5° 26' 44,725" N	76° 44' 39,708" W
10	Point	0	Bosque Denso	Rio Quito	5° 26' 29,885" N	76° 44' 27,631" W
11	Point	0	Bosque Denso	Atrato	5° 27' 25,494" N	76° 40' 43,323" W
12	Point	0	Bosque	Atrato	5° 27' 25,185" N	76° 40' 30,907" W
13	Point	0	Bosque	Atrato	5° 27' 17,424" N	76° 39' 59,861" W
14	Point	0	Corrientes	Atrato	5° 28' 41,119" N	76° 41' 36,939" W
15	Point	0	Corrientes	Certegui	5° 23' 31,799" N	76° 39' 10,017" W
16	Point	0	Bosque	Certegui	5° 24' 14,829" N	76° 38' 20,570" W
17	Point	0	Corrientes	Certegui	5° 24' 47,277" N	76° 42' 1,851" W
18	Point	0	Bosque	Cantón San P.	5° 21' 7,701" N	76° 43' 42,960" W
19	Point	0	Bosque	Cantón San P.	5° 21' 28,160" N	76° 43' 48,319" W
20	Point	0	Bosque	Cantón San P.	5° 21' 49,695" N	76° 43' 51,530" W
21	Point	0	Bosque	Unión Panameri	5° 18' 39,436" N	76° 37' 4,333" W
22	Point	0	Bosque	Unión Panameri	5° 18' 29,101" N	76° 37' 5,200" W
23	Point	0	Bosque	Unión Panameri	5° 18' 30,815" N	76° 36' 54,028" W
24	Point	0	Bosque	Itsmina	5° 14' 11,619" N	76° 43' 59,840" W
25	Point	0	Bosque	Itsmina	5° 14' 25,623" N	76° 44' 13,794" W

Figure 12. Coordenadas de campo

Fuente: Autor

También se recolectaron polígonos manualmente para una de las clases de coberturas en estudio, por ejemplo, el color naranja corresponde a zonas de explotación minera. (Figura 13)

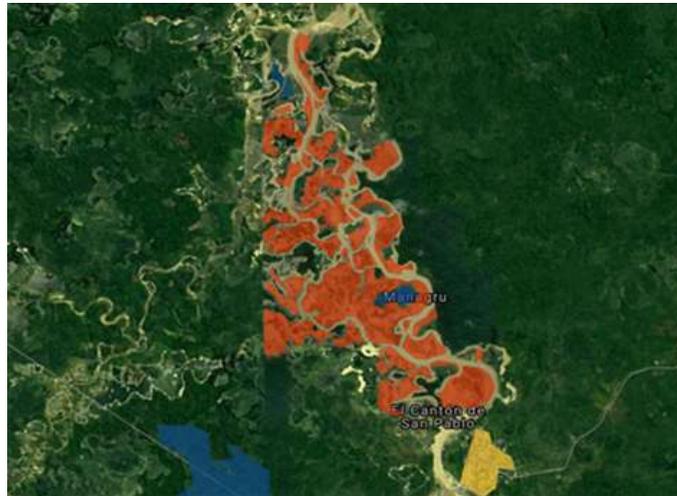


Figura 13. Polígonos de zonas de explotación minera

Fuente: Google Earth Engine

Una vez recolectada la información se ejecuta un lenguaje de código en la plataforma (Figure 14) y son clasificadas las imágenes, luego se realiza el entrenamiento del modelo y se estima su precisión y desempeño tanto en esta etapa de entrenamiento, como en la etapa de validación en la clasificación. Posteriormente, después de comprobar un desempeño aceptable por tener un promedio de 63%, en el modelo son clasificadas las imágenes. (Figure 155)

Desarrollo de código para clasificación

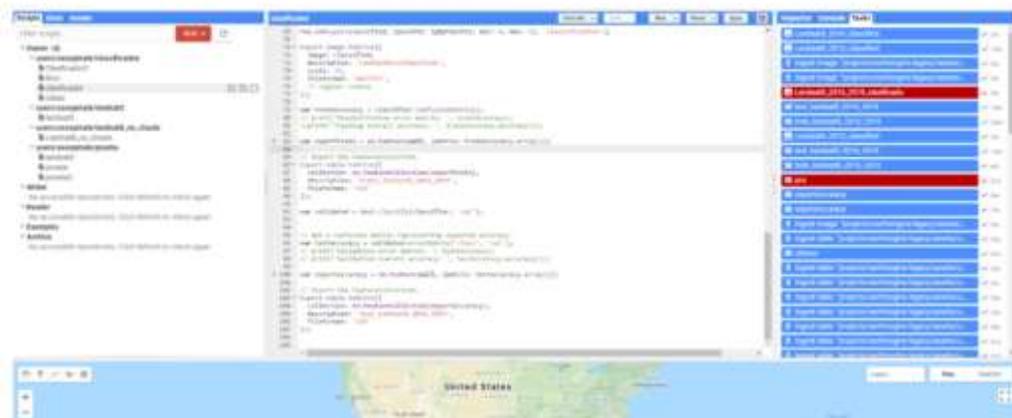


Figure 14. Código para clasificación de imágenes

Fuente: Ramdon Forest

Desempeño en la clasificación

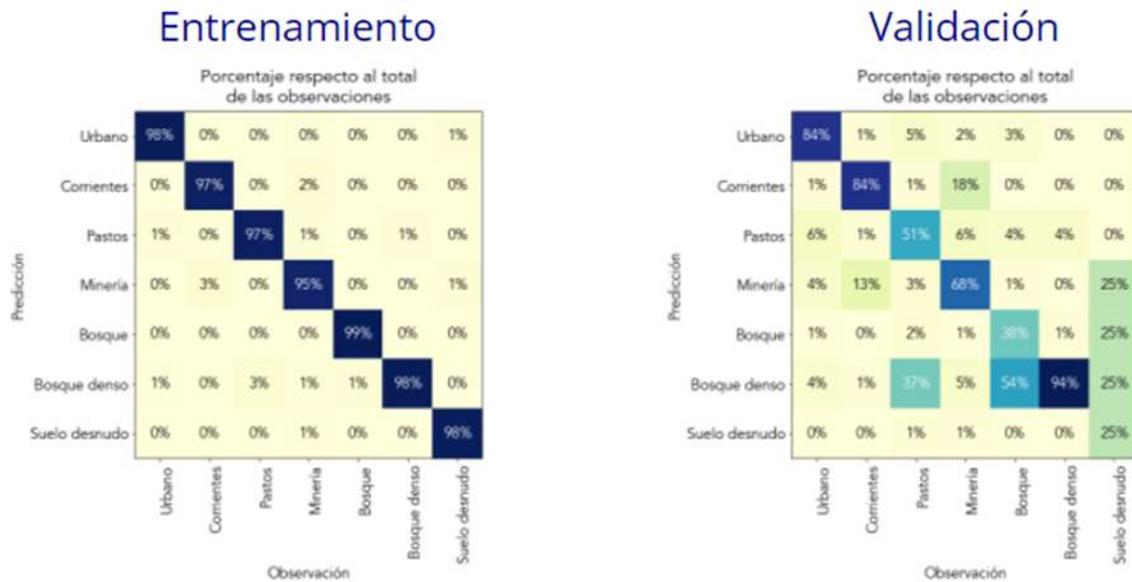


Figure 15. Entrenamiento del modelo Random Forest

Fuente: Autor

Una vez realizada la clasificación de las imágenes, (Figure 166, Figure 177) para el análisis multitemporal se realizó una comparación de imágenes de manera independiente. El requisito fue tener elaborada la misma leyenda temática para las fechas (metodología Corine Land cover), con el propósito de que fueran realmente comparables.

Después de realizada la clasificación en Random Forest, con la información de las coordenadas levantadas en campo, se calculó y estimó el valor de la precisión del índice de Kappa, donde se verificó y ajustó las categorías temáticas de cobertura y uso del suelo, para ello se utilizaron las 7 clases de coberturas establecidas inicialmente utilizando la metodología corine land cover.

A partir de estos resultados, se genera una tabla multitemporal de cambios, en donde se presentan las transiciones que se producen entre los periodos 2015 y 2019, lo que permite observar, no sólo las zonas de cambio sino también comparar la cobertura original y la actual. Las imágenes clasificadas fueron vectorizadas en Arcgis para obtener polígonos en formato shapefile que permitieran calcular las diferentes áreas para cada tipo de uso del suelo.

En la matriz de confusión, los valores que se encuentran en la diagonal, hacen referencia al número de puntos de verificación donde ocurre el acuerdo entre dos variables (Mapa y realidad), mientras que los aledaños hacen referencia a los errores de asignación en la clasificación, la relación entre el número correctamente asignados y el total, da cuenta de la fiabilidad general del mapa del 77%. Según (Gil - Yopez, et al. 2013. Santé, 2009. Segura, et al. 2003, MINAM 2015) citado por (Montesinos Kiper, Tuesta Gerardo 2017). Los valores excedentes de las filas indican categorías del plano que no se ajustan a la realidad y los excedentes en columnas indican tipos de coberturas real que no se incluyeron en el mapa. Se obtuvo el índice de kappa de 0.72, equivalente al 72%. (Ver Tabla)

Tabla 4. Matriz de confusión - Índice de Kappa

	Bosque	Bosque Denso	Urbana	Pastos	Minería	Corrientes	Suelo desnudo	Usuario
Bosque	17	0	0	0	0	0	1	18
Bosque Denso	0	4	0	0	0	0	0	4
Urbana	0	0	3	0	0	0	0	3
Pastos	0	0	0	11	0	0	2	13
Minería	1	0	0	7	34	0	2	44
Corrientes	0	0	0	1	0	5	1	7
Suelo desnudo	0	0	0	7	0	0	1	8
Precisión	18	4	3	26	34	5	7	97

Fuente: Julio Cesar Magne S. 2022

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\text{Total Number of correctly Classified pixels (Diagonal)}}{\text{Total number of Reference pixels}} \times 100$$

$$= \frac{17+4+3+11+34+5+1}{97} \times 100 = 0,77$$

$$= 0,77 \times 100 = 77\%$$

Usuario

Bosque = 94,4%

Bosque Denso = 100%

Urbana = 100%

Pastos = 84,6%

Minería = 77,2%

Corrientes = 71,4%

Suelo desnudo = 0,08



Producer Accuracy = $\frac{\text{Number of Correctly Classified Pixels in each category}}{\text{Total number of Classified Pixels in that Category (Column Total)}} \times 100$

Bosque = 94,4%

Bosque Denso = 100%

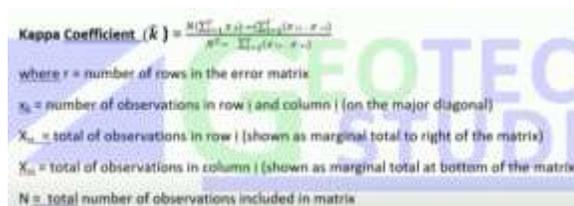
Urbana = 100%

Pastos = 42,3%

Minería = 100%

Corrientes = 100%

Suelo desnudo = 0,08



Kappa Coefficient (\hat{k}) = $\frac{N(\sum_{i=1}^r x_{ii}) - (\sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i}))}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$

where r = number of rows in the error matrix
 x_{ii} = number of observations in row i and column i (on the major diagonal)
 x_{i+} = total of observations in row i (shown as marginal total to right of the matrix)
 x_{+i} = total of observations in column i (shown as marginal total at bottom of the matrix)
 N = total number of observations included in matrix

$$\hat{k} = \frac{N(\sum_{i=1}^r x_{ii}) - (\sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i}))}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \cdot x_{+i})}$$

$$N = 97 * (17+4+3+11+34+5+1)$$

$$=7,275$$

$$= 18*18+4*4+3*3+26*13+24*34+5*7+7*8$$

$$= \mathbf{1,594}$$

$$= \frac{7275 - 1594}{972 - 1594}$$

$$= 5,681/7815 = 0, 72, \mathbf{K = 72\%}$$

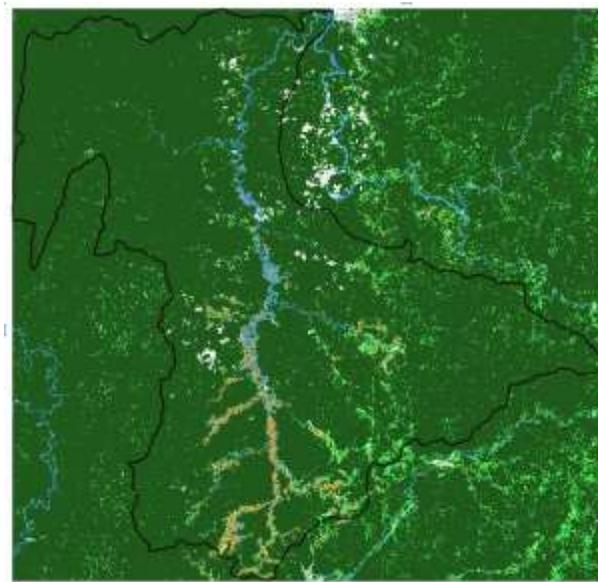


Figure 16. Imagen clasificada, Lantsad 8 de 2015

Fuente: Google Earh Engine



Figure 17. Imagen clasificada, Lantsad 8 de 2019

Fuente: Google Earh Engine

El cálculo de las coberturas muestra que para el año 2015 la categoría predominante en la cuenca del río Quito era el bosque denso con un área de 151.891 ha, correspondientes al 90,6% del área total, cobertura que para el año 2019, se redujo en 10.390 hectáreas, de igual manera se observan cambios significativos como en la categoría de minería, presentando un aumento en el año 2019 equivalente a 1.420 hectáreas, también se puede observar que para el año 2019, aumentaron las áreas o zonas impermeables en 501 hectáreas, las cuales corresponden a zonas que han sido trabajadas con maquinaria con el objetivo de extraer materiales preciosos de los suelos (Ver Tabla 5)

Tabla 5. Análisis multitemporal de coberturas 2015 - 2019

Ítem	Cobertura	Cobertura 2015		Cobertura 2019		Cambio
		Areaaha	%	Areaaha	%	
1	Bosque	1.107,52	0,7	1.103,98	0,7	-3,5
2	Bosque denso	151.891,05	90,6	141.500,52	84,1	-10.390,5
3	Cuerpos de agua	3.374,67	2,0	3.936,21	2,3	561,5
4	Impermeable	797,29	0,5	1.299,16	0,8	501,9
5	Minería	2.619,82	1,6	4.040,31	2,4	1.420,5
6	Nubes	1.118,25	0,7	8.680,41	5,2	7.562,2

7	Pastos	6.827,93	4,1	7.767,08	4,6	939,1
	Total	167.736,52	100	168.327,67	100	

Fuente: Autor

12.3. Elaboración de cartografía temática del área de estudio donde se evidencia el área afectada

En este aparte se elaboró la cartografía correspondiente a los mapas de las clasificaciones de las coberturas, donde se puede observar detalladamente los tipos de coberturas presentes en la cuenca del río Quito, tanto para el año 2015 como para el año 2019, también se elaboró el mapa de ubicación de las coordenadas tomadas en campo en sitios con presencia de áreas degradadas por diferentes actividades antrópicas, (Ver Figure 244, Figure 255, Figure 226) donde se puede observar que, de los 97 puntos capturados en la zona, el 95% de ellos coincidió con las clasificaciones que se realizaron, también se elaboró el mapa de los títulos y resguardos de las comunidades étnicas, para observar la distribución étnico territorial con respecto a las áreas clasificadas. De igual modo, se construyó el mapa de los títulos mineros existentes en la cuenca, donde se puede observar que en un área de 166.889ha, lo solicitado son 29.653ha. (Ver Figure 23).

También se realizó el mapa de uso del suelo donde se puede evidenciar que en el 60% del área de la cuenca, la principal actividad es la caza y la pesca, seguido por los sistemas agroforestales en un 10% y el establecimiento de cultivos transicionales en un 10%, también se realiza el aprovechamiento selectivo, el aprovechamiento maderero entre otros. (Ver Figure 266)

Tabla 5. Títulos colectivos de comunidades afrodescendientes

Títulos colectivos de comunidades afrodescendientes		
Comunidad	Área (ha)	%
MAYOR DEL CANTÓN SAN PABLO "ACISANP"	36.043,	23,
	4	6
MAYOR DE UNIÓN PANAMERICANA	11.528,	
	1	7,5
SAN ISIDRO	11.853,	
	3	7,8
PAIMADÓ	17.015,	11,
	5	1

VILLA CONTO	27.402,5	17,9
RÍO BAUDÓ ACABA	1.118,5	0,7
ISTMINA Y PARTE DEL MEDIO SAN JUAN	16.428,1	10,8
CONSEJO ORGANIZACIÓN POPULAR CAMPESINA DEL ALTO ATRATO - COCOMOPOCA	4.594,3	3,0
CÉRTEGUI	25.445,7	16,7
MAYOR DEL ALTO SAN JUAN "ASOCASAN"	1.277,0	0,8
Total	152.706,3	100

Fuente: Incoder 2015

Tabla 6. Resguardos indígenas de la cuenca del río Quito

Resguardos indígenas		
Resguardo	Área (ha)	%
MIASA DE PARTADO	2.262,9	25,0
LA LOMITA	991,6	11,0
SAN JOSÉ AMIA DE PATO	810,5	9,0
RÍOS PATO Y JENGADO	3.123,7	34,6
PARED Y PARECITO	1.845,2	20,4
Total	9.034,1	100

Fuente: Incoder 2015

12.4. Planteamiento de alternativas que mitiguen las consecuencias derivadas de la explotación de los recursos ecosistémicos sin control

Como alternativas que mitiguen las consecuencias derivadas de la explotación de los recursos ecosistémicos sin control en la cuenca del río Quito, se plantean las siguientes:

- Accionar el plan territorio forestal (plan de ordenamiento forestal) donde se identifiquen o establezcan las áreas protegidas en la zona de influencia de manera que se propenda por la conservación y el buen manejo de los ecosistemas presentes.

-
- Establecimiento de una política sectorial por parte de las autoridades ambientales que restrinja las malas prácticas en el ejercicio de actividades de extracción de minería en la cuenca con materiales y maquinarias especiales para garantizar la recuperación y el buen estado de los ecosistemas.
 - Proponer la implementación de una política pública de restauración de las áreas degradadas por diversas actividades antrópicas en zonas de especial interés ecosistémico como es el caso de la cuenca del río Quito.
 - Gestionar incentivos a nivel gubernamental para las comunidades étnico territoriales por la restauración y el cuidado de los bosques.

13. Discusión y Conclusiones

La cuenca del río Quito se ha caracterizado por ser una zona biodiversa, conservada, rica en especies florística y faunísticas, durante muchos años sus ecosistemas han aportado al sustento de muchas familias, sin embargo, alrededor de los últimos 20 años ha sido escenario propicio para la ejecución de diversas actividades antrópicas que han deteriorado los bosques, específicamente y con mayor intensidad, esta actividad predominante ha sido la extracción de materiales preciosos.

Es evidente el aumento de personas ejerciendo la actividad de extracción de materiales preciosos en los últimos años, especialmente en el período comprendido entre el año 2010 y 2019, debido a la crisis económica que atraviesa el país, en especial el departamento del Chocó y en consecuencia los municipios que hacen parte de la cuenca de río Quito, convirtiendo esta actividad en la principal fuente de ingresos para el sustento y la seguridad alimentaria de las familias ribereñas de los afluentes, situación que concuerda con el censo del DANE en el año 2005 y dispuesto en la sentencia T622 de 2016 donde se afirma que el departamento del Chocó presenta índices de población según los cuales, el 48.7% vive en condición de pobreza extrema. De acuerdo al índice de Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI- que mide si las necesidades básicas de la población están cubiertas de acuerdo a unos criterios mínimos en las diferentes regiones del país, se encuentra que para esta región es del 82.8%, el más alto del país, dentro del cual cerca del 79% de sus habitantes presenta al menos una NBI, por lo que se tiene el indicador más bajo en calidad de vida del país con el 58% frente al promedio nacional que es del 79%, (Sentencia T622 de 2016) y lo encontrado en el plan de desarrollo del municipio de río Quito, donde se observa en el censo estudiantil que entre más ascenso hay en el nivel educativo, más deserción escolar hay puesto que los individuos se ven obligados a abandonar sus estudios por garantizar a sus familias los recursos para económicos para abastecerse, ya que es una de las principales fuentes de ingreso en la región.

La clasificación de las coberturas en la cuenca del río Quito se realizó en un periodo comprendido entre los años 2015 y 2019, con una evaluación bianual, lo cual se llevó a cabo ejecutando un script en la plataforma de Ramdon forest y tomando muestras aleatorias para de esa manera enseñar al modelo a reconocer los tipos de coberturas y lograr que el algoritmo de clasificación realizara el proceso con el aprendizaje implementado, se realizó la validación del modelo en cuanto al desempeño de clasificación y arrojó un porcentaje promedio de 63%, el cual se encuentra categorizado en un estado considerable para clasificación.

Por otro lado, con base a los resultados obtenidos, se puede concluir que el empleo del algoritmo random forest en la clasificación de las coberturas en la cuenca del río Quito brinda un considerable grado de exactitud en la clasificación de acuerdo al coeficiente kappa alcanzado, equivalente al 0.72, (Ver Figure 7) asemejándose a los resultados obtenidos en el proyecto “Clasificación de uso actual del territorio con la leyenda de IPCC nivel 1, aplicando el algoritmo RANDOM FOREST, en un tramo de la carretera a la laguna Cashibococha, distrito Yarinacocha - 2016” donde se aplicó casi la misma metodología con un valor de índice de kappa de 0.97.

Con el análisis multitemporal de las áreas degradadas se pudo evidenciar que de los municipios que conforman la cuenca del río Quito, el municipio con más afectación solo por actividad minera para el periodo comprendido entre el 2015 -2019, fue el cantón de San Pablo, donde para el año 2015 se reportaron 410ha de áreas degradadas y para el 2019 se reportó un área de 1.209 hectáreas, dando lugar a una pérdida de bosques o cambio de coberturas correspondiente a 799 hectáreas, hecho que concuerda con las diligencias adelantadas por la corporación autónoma regional del Chocó “CODECHOCO” durante la vigencia 2020, donde se diseñó una estrategia integral para contribuir a la restauración de los suelos degradados por la minería, a través de la ejecución del proyecto “Recuperación de Áreas Boscosas Degradadas por Actividad Minera en el municipio de Cantón de San Pablo Departamento del Chocó”, donde se avanza en la intervención y recuperación de 433 hectáreas mediante el establecimiento de 454.690 árboles, de diferentes especies forestales como Roble, Pichindé, Peine Mono y Balso. Además, de las frutales como: Achioté, Guama, Árbol del pan y Mataratón. (CODECHOCO 2021)

También se pudo evidenciar con el análisis multitemporal que el segundo municipio más golpeado por la afectación derivada solo por la minería fue río Quito con una pérdida de 296 hectáreas, pasando de un área de 410 hectáreas en 2015 a un área de 1.511 ha en 2019, acción que concuerda con la afirmación de Viviana González, integrante de “Tierra Digna” expresa que las afectaciones más graves a las comunidades en términos de salud y degradación medio ambiental de ríos y bosques- se presentan en las zonas aledañas al río Atrato y sus afluentes (cerca de 13), en los territorios de Río Quito, la Soledad, Villa Conto, San Isidro y Paimadó, entre otros; afectaciones que estiman ocurren en cerca del 84% del territorio colectivo de las comunidades. Explica que, de acuerdo a estudios del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico -IIAP-, se han reportado casos de abortos espontáneos, enfermedades vaginales, cutáneas y hongos producidos por la presencia de mercurio, metilmercurio y cianuro en las aguas del río. Señala que, sin embargo, se requiere la realización de estudios epidemiológicos y ecotoxicológicos para determinar con claridad una línea base que permita entender la gravedad del problema y los efectos asociados del mercurio, que aún no se han realizado. Indica que es alarmante el nivel de mercurio que ha encontrado el IIAP en las poblaciones

y refiere estudio que fue practicado sobre 160 personas en la cuenca del río Atrato y sus afluentes (río Quito), según el cual, el nivel de mercurio encontrado en la sangre es de 60 puntos por millón, cuando el promedio mínimo mundial considerado aceptable es de 0.5 puntos por millón y en Colombia es de 1.0 por persona. (sentencia T622 de 2016)

Sumado a esto, se evidenciaron zonas impermeables las cuales corresponden a aquellas donde hubo actividad minera y queda el área en forma de pozo el cual se cubre de una cantidad de agua, en el año 2015 se reportaron para Cantón 197 ha, y para río Quito 86ha, istmina 250ha, unión panamericana 167ha, ya para el 2019 para el municipio de istmina se calculó un área de 444ha, para el Cantón del San Pablo un área de 378 has, y río Quito 208ha respectivamente, todo esto deja ver el aumento que tuvieron las áreas degradadas por actividades mineras.

Es de anotar que los bosques circundantes en la zona también sufrieron cambios significativos en lo recorrido de este periodo analizado pasando de haber un área de 151891has en 2015, a concentrar un área de 141.500has en 2019, notando un cambio de cobertura de 10.390ha, este cambio puede obedecer al uso de cultivos ilícitos en la zona de estudio, toda vez que la UNODC en su inventario realizado en 2018 reportó la presencia de este tipo de especies vegetales en 3 de los consejos comunitarios que hacen parte de la cuenca del río Quito.

Cabe resaltar que, según los datos de la (ANM 2020) y los cálculos realizados en cuanto a los títulos mineros legales existentes en la zona de estudio, se tiene que aproximadamente el 18% del área de la cuenca del río Quito se encuentra con títulos mineros vigentes, a lo que se debe anotar lo mencionado por Viviana González, integrante de “Tierra Digna” donde advierte la notable transformación de las formas tradicionales de vida de las comunidades (agricultura, pesca, caza) debido a la minería y objeto que la formalización minera propuesta no es la vía para contrarrestar la problemática existente mientras la autoridad minera siga entregando títulos a las multinacionales mineras.

14. Recomendaciones

Como primera medida se recomienda el cuidado y la conservación de los bosques por parte de todos los actores que intervienen en la cuenca del río Quito ya que los recursos naturales día a día han venido sufriendo cambios que conllevan a la inestabilidad y disminución de bienes que aportan a la seguridad alimentaria.

Se insta a fortalecer los marcos normativos para el monitoreo de los bosques en el departamento del chocó de manera que se continúen implementando proyectos de restauración en las áreas degradadas por diferentes actividades antrópicas.

También se recomienda realizar proyectos de inversión que propendan por la reconstrucción del tejido social y la seguridad alimentaria para el bienestar de las comunidades asentadas en las riberas de los ríos de la cuenca de río Quito.

De igual manera se recomienda que las autoridades gubernamentales implementen planes de desarrollo con enfoque étnico territorial que tome en cuenta la cosmovisión de los pobladores asentados en la cuenca del río Quito.

De igual modo, se insta a todas las entidades gubernamentales involucradas a ejercer vigilancia y control a los derechos conferidos dispuestos en la sentencia T622 de 2016, y a los proyectos productivos implementados en la zona, derivados del reconocimiento a los pobladores por los daños ocurridos a raíz de las prácticas de actividades que aportan al deterioro del medio ambiente.

En cuanto al análisis multitemporal se recomienda utilizar imágenes capturadas por dron ya que brindan mayor detalle de la zona de estudio y por ende permite precisar de una mejor manera, las áreas degradadas y disminuir errores de clasificación.

Se recomienda realizar investigaciones más profundas y detalladas en la zona de estudio, utilizando herramientas de sensoramiento remoto que permitan observar de forma más detallada en área en mención, ya que sus pobladores manifiestan la desaparición de especies como la boquiancha a causa de la ejecución de actividades mineras en la zona, especialmente en el río Atrato, principal afluente contiguo a la cuenca del río Quito.

15. Referencias bibliográficas

1. Afrin, S., Gupta, A., Farjad, B., Ahmed, M. R., Achari, G., & Hassan, Q. (2019). Development of Land-Use/Land-Cover Maps Using Landsat-8 and MODIS Data, and Their Integration for Hydro-Ecological Applications. *Sensors* (Basel, Switzerland), 19(22), 4891. <https://doi.org/10.3390/s19224891>.
2. Alcaldía Municipal del Cantón del San Pablo. (2012). Esquema de ordenamiento Territorial. Cantón del San Pablo.
3. Alcaldía Municipal. (2005-2016). Esquema de Ordenamiento Territorial municipio del Cantón del San Pablo- Chocó. Cantón del San Pablo.
4. Alfaro-V. Claudia, Rodríguez-R. Gilbert, Matiz-L. Jhon, (3 de Abril de 2019). Revista científica universidad industrial de Santander. Modelos de temperatura del suelo a partir de sondeos superficiales y sensores remotos para el área geotérmica de Paipa, Boyacá-Colombia.
5. Álvarez Del Castillo, J., & Agredo Cardona, G. A. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino caso la cuenca urbana San Luis Manizales. *Manizales: 1909-2474*.
6. Armenteras, D. y Rodríguez, N. (2014). Dinámicas y causas de deforestación en bosques de Latinoamérica: una revisión desde 1990. *Colombia Forestal*, 17(2), 233-246. DOI: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a07>.
7. Ayala Mosquera et. Al. (2016) Diagnóstico de la información ambiental y social respecto a la actividad minera y la extracción ilícita de minerales en el país, Sentencia T 445 de Agosto 2016.
8. Berlanga-Robles, CA, Ruiz-Luna, A Análisis de las tendencias de cambio del bosque de Mangle del sistema lagunar Teacapán-agua brava, México. una aproximación con el uso de imágenes de satélite Landsat. *Universidad y Ciencia [en línea]*. 2007, 23(1), 29-46 [fecha de Consulta 4 de Julio de 2020]. ISSN: 0186-2979. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15423104>.
9. Borselli, L., Cassi, P., y Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A gis and field numerical assessment. *CATENA*, 75 (3), 268 - 277. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816208000982> doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.07.006>.

-
10. Cárdenas Chávez, A. (2007). monitoreo de cambios en la cobertura vegetal del santuario de flora y fauna de iguaque y su area de influencia, entre 1986 y. Bolívar.
 11. Chaparro L. Heiner Y., trabajo de grado (2017) Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de Paz de Ariporo, Casanare.
 12. Chen, Y., He, W., Yokoya, N., & Zhun-Huang, T. (2019). Blind cloud and cloud shadow removal of multitemporal images based on total variation regularized low-rank sparsity decomposition. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 93-107.
 13. CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial. Segunda edición. Madrid: Ediciones RIALP S. A. 1995. ISBN 843212680-2.
 14. Da S. Cristian J., Cardozo Osvaldo D. (2015). GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en resistencia (Argentina).
 15. De la Cruz B. Jenni M, Muñoz G. Gustavo, (2016) Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán , Cauca. 58p.
 16. Cánovas G Fulgencio, Sarría Francisco A, Castillo Francisco G, Modificación del algoritmo random forest para su empleo en clasificación de imágenes de teledetección, Julio de 2016
 17. Cerda, J. & Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), p.54-58.
 18. Cotoa H. Germán J. (2020). Análisis multitemporal de la deforestación en la ciénega de Ayapel mediante el procesamiento de imágenes de satelites en el periodo 2010-2020.
 19. Cuenca hidrográfica. (2019, agosto 3). EcuRed. Consultado el 4 julio 2020 en https://www.ecured.cu/index.php?title=Cuenca_hidrogr%C3%A1fica&oldid=3487140.
 20. Dou, W.; Ren, Y.; Wu, Q.; Ruan, S.; Chen, Y.; Bloyet, D.; Constans, J. (2007). Fuzzy kappa for the agreement measure of fuzzy classifications. *Neurocomputing*, 70(4-6), p.726-734.
 21. Diaz Varela, R., Cillero Castro, C., Diaz Varela , E., & Calvo Iglesias, S. (2018). Sub-metric analisis of vegetation structure in bog-heathland mosaics using very high resolution rpas imagery. *Ecological Indicator*, 861-863.

-
22. ESTIMACION DE LA EXACTITUD DE UNA CLASIFICACION - MATRIZ DE CONFUSION, Consultado 4 Julio 2020 <http://www.teledet.com.uy/tutorial-imagenes-satelitales/clasificacion-matriz-confusion.htm>.
 23. Estudio de impacto ambiental en zonas mineras del Departamento del Chocó, codechoco 1998.
 24. Forero Bonell Carlos F, Leon C. Rober (1999). Indicadores de sostenibilidad en la industria de agregados: La experiencia colombiana, 22 pag.
 25. Flórez Gloria Y, Yepes a, Rincón Alejandro, Santamaría b, Cardona c Pablo S, Alzate Angela M, Alvarez, artículo (Junio 2017), [fecha de Consulta 4 de Julio de 2020] Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia.
 26. Franco R. & Rodríguez J. M. (2005). Análisis multitemporal satelital de los bosques del Carare -Opon, mediante imágenes landsat de 1991 y 2002. Colombia Forestal, (9), (18), 157-162.
 27. Gómez P. ErwinD., Lozano D. Anny L., Valencia R. Carlos N., (2013) Situación actual del sector minero en el departamento del Chocó e identificación de escenarios de desarrollo alternativos. Descargado: http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya/plata_caracteristicas.htm
 28. Gonzales A. Diego y Bareño P. John E. Análisis multitemporal del cambio en el uso y cobertura del suelo en la zona de influencia de la mina Patio Bonito de la vereda el Municipio de Sibaté, Cundinamarca, 21 de agosto de 2018. Consultado el 20 Febrero 2020, en: <http://hdl.handle.net/11349/22525>.
 29. Grinand Clovis, Gond Valéry et al, (2013) Estimación de la deforestación en bosques tropicales húmedos y secos en Madagascar de 2000 a 2010 utilizando imágenes satelitales Landsat multifecha y el clasificador de bosques aleatorios. Madagascar 2013.
 30. Hernandez R. Olga, (Octubre 2012) Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del Distrito Central años 1987 y 2006. Consultado en: http://faces.unah.edu.hn/mogt/images/stories/PDF/Tesis/13_Tesis_Olga_Hernandez_2012.pdf.
 31. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Datos Landsat, (2020), Consultado: https://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes_satelitales_tl

-
32. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Descripción y corrección de imágenes Landsat 8. LDCM. Versión 1.0. Bogotá D. C.: Centro de Investigación y Desarrollo – CIAF, 2013. 45 p.
 33. Jaramillo M. Diego F. (2016). Análisis multitemporal de la expansión urbana del municipio de Santiago de Cali.
 34. Jensen (1996) Human DNA topoisomerases II alpha and II beta can functionally substitute for yeast TOP2 in chromosome segregation and recombination. *Mol Gen Genet* Vol 252, Pag 79-86. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8804406> .
 35. J. J. Desmet, P., y Govers, G. (1996, 09). A gis procedure for automatically calculating the usle ls factor on topographically complex landscape units. , 51 , 427-433.
 36. LI, M.; WU., Y.; ZHANG, Q. (2009). Image segmentation based on mixture context and wavelet hidden - class - label Markov random field. *Computers and Mathematics with Applications*, 57(6), p.961-969.
 37. Lillesand, T. M., R. W. Keifer and J. W. Chipman (2004) *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5th ed.
 38. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
 39. Lizzi, J. M., Garbulsky, M. F., Golluscio, R. A., & Deregibus, A. V. (2007). Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. *Ecología austral*, 17(2), 217-230.
 40. Lucero M. Ligia, (2017) Análisis Multitemporal del Cambio en la Cobertura y Usos del Suelo para Evaluar el Impacto de la Minería y su Influencia en la Producción de Sedimentos por Medio de la Herramienta ArcSwat en la Cuenca del Río San Juan. Consultado en: <http://www.brc.tamus.edu/swat/index.html>
 41. Magne S. Julio C , (2022) curso Índice de capa aplicado a manejo de bosques tropicales. Consultado en: <http://youtu.be/BHq6RT18RME>
 42. Manuel R. Demaría, 2008, Cambios en la cobertura de pastizales pampeanos semiáridos en san luis (argentina), y su relación con variables climáticas y ambientales. Análisis multitemporal mediante teledetección y sig. [fecha de Consulta 4 de Julio de 2020] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=253423>.

-
43. Marín V. Alba L, Álvarez H. Carlos F., Giraldo Carlos E, Uribe S. Sandra, (2018) artículo, Análisis multitemporal del paisaje en el Magdalena medio en el periodo 1985-2011: una ventana de interpretación de cambios históricos e implicaciones en la conectividad estructural de los bosques, para el análisis multitemporal del paisaje del municipio de Puerto Berrío (Antioquia).
 44. Martínez B. Yerly A., ZAMBRANO F. IVAN D., (2016). Generación de un sistema de información geográfica que facilite el seguimiento a los salvoconductos forestales nacionales.
 45. Martínez Liseth, Ruiz O. Lissa M., artículo, (26 de Julio de 2015) Análisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007 - 2013 parque nacional natural Alto Fragua Indi Wasi.
 46. Martínez Graña, A., Goy, J., Santos Frances, F., Sánchez, I., Cabrera, I., Delgado Sánchez, L., y otros. (03 de 07 de 2012). LOS SIG Y LA CARTOGRAFÍA AMBIENTAL- EVALUACIÓN ESTRATÉGICA Y DE IMPACTO AMBIENTAL.
 47. Mejía Ramírez, J. (2016). Análisis multitemporal utilizando técnicas de Teledetección de la pérdida de cobertura vegetal por causa de la minería ilegal en el Baj Cauca Antioqueño. Universidad Militar de Nueva Granada, Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/15543>.
 48. Meza-Elizalde, M. C. y Armenteras, D. (2018). Uso del suelo y estructura de la vegetación en paisajes fragmentados en la Amazonia, Colombia. Colombia Forestal, 21(2), 205-223 [fecha de Consulta 4 de Julio de 2020] http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392018000200205&lang=es#B7.
 49. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Planificación de cuencas hidrográficas, (2020) en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/cuenca-hidrografica>.
 50. Montesinos Kiper, Tuesta Gerardo 2017. Clasificación de uso actual de territorio con la leyenda del IPCC nivel 1, aplicando el algoritmo RANDOM FOREST, en un tramo de la carretera a la laguna Cashibococha, distrito Yarinacocha – 2016.
 51. Orozco Oñate, D., & Valbuena Cely, A. d. (2016). Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos de la explotación a cielo abierto en la mina El Cerrejón municipio de Barrancas y Albania departamento de la Guajira. Segamozo: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

-
52. Pamela A. Paula, Luis Zambrano, Paulina Paula, junio 2018 <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v9n2/1390-6542-enfoqueute-9-02-00125.pdf>.
 53. P. , A., M., D., R., N., & E., F. (2009). Aplicación de técnicas SIG, Sensoramiento Remoto y Análisis Multicriterio para la Detección de Impactos Antropogénicos en la Cobertura de Suelos y su Proyección para el 2010. Caso de estudio: Estuario de Santos (Brasil) . Tecnología ESPOL , 22, 73-79.
 54. Parody Z. Auris Marcela y Zapata S. Eudes, (10 Octubre de 2015) Análisis multitemporal, deforestación, fotografía aérea y sensado remoto, Consultado en: <http://revistas.ufpso.edu.co/index.php/ringenio/article/view/232/149>.
 55. Perea R. Laura D, (2015) Tesis, Análisis de las afectaciones socio- ambientales producto de la explotación minera aurífera en la parte central de la cuenca del río San Pablo, municipio del Cantón del San Pablo; departamento del Chocó.
 56. Perez Arango, Juan & Mesa, Oscar. (2002). Estimación del factor de erosividad de la lluvia en Colombia.
 57. Peng, F., Wang, L., Zou, S., Luo, J., Gong, S., & Li, X. (2019). Content-based search of earth observation data archives using open-access multitemporal land cover and terrain products. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 13-26.
 58. Quintero Wilmer, Robles Carlos A., (2017) Viloría Adolfo M., Sistema de Información para Detección de Crecientes Súbitas en la Cuenca del Río Manzanares en Santa Marta, Colombia.
 59. Rodríguez, O. P. (2012). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del municipio del distrito central años 1987-2006. Tegucigalpa.
 60. Rodríguez T. Merlin, (Julio, 2017) Minería ilegal con afectación ambiental en el municipio de Río Quito - chocó. 132p
 61. Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante, 117-123.
 62. Santillán N. Daniel E., (2016). Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras.
 63. Salinas C., Wilver E, Terrazas R, Marijose, Mora O, Arturo, Paredes H., Cutberto U., Análisis multitemporal de cambios de uso de la tierra en San Fernando, Tamaulipas, durante el periodo 1987 a 2017, CienciaUAT, ISSN-e 2007-7858,

-
- ISSN 2007-7521, Vol. 14, Nº. 2, 2020, págs. 160-173 [fecha de Consulta 4 de Julio de 2020] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7364841>.
64. Vargas G. Jessica A., (2013) Analisis Multitemporal de la cobertura del suelo en el Departamento del Huila (Alto Magdalena, Colombia), 49 pag., consultado en: <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1297> 4de Febrero 2020.
65. Velazquez M. Erbin, (2016) Evaluación Socio-Económica y Valoración de Impactos Ambientales derivados de la Minería, desarrollada en el departamento del Chocó.
66. Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L., McInnes, J., y Roberts, A. (2012). Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*, 138 (1), 74 - 88. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X11004478> doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.026>.
67. Vinueza C. Erika L., Sinde G. Izar (2020). Predicción mediante sensores remotos de la sedimentación en el santuario del río Chone.
68. Walter H Wischmeier, Dwight David Smith, et al. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning., 1978.
69. Yumiao Wang, Zhou Zhang, Luwei Feng, Qingyun Du and Troy Runge, Combining Multi-Source Data and Machine Learning Approaches to Predict Winter Wheat Yield in the Conterminous United States, 12 de Abril 2020.
70. Corte constitucional de Colombia, Sentencia T622 de 2016. (<https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2016/t-622-16.htm>)

Anexos.



Figure 18. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Rio Quito

Fuente: Autor Propio



Figure 19. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Rio Quito

Fuente: Autor Propio



Figure 20. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Río Quito

Noviembre de 2020, Fuente: Autor



Figure 21. Zonas afectadas por actividad minera en la cuenca de Río Quito

Noviembre de 2020, Fuente: Autor

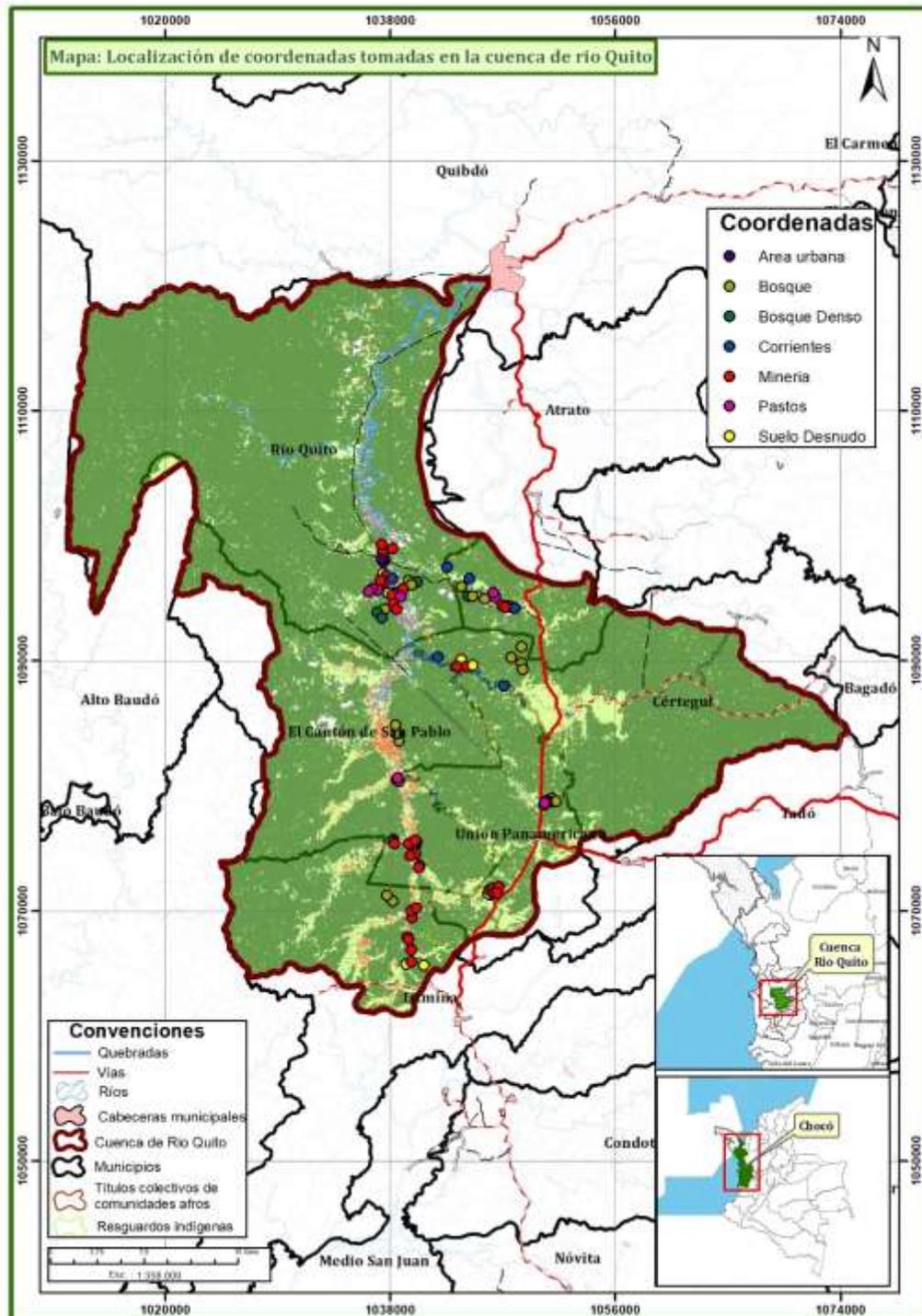


Figure 22. Coordenadas tomadas en campo

Fuente: Igac, Autor

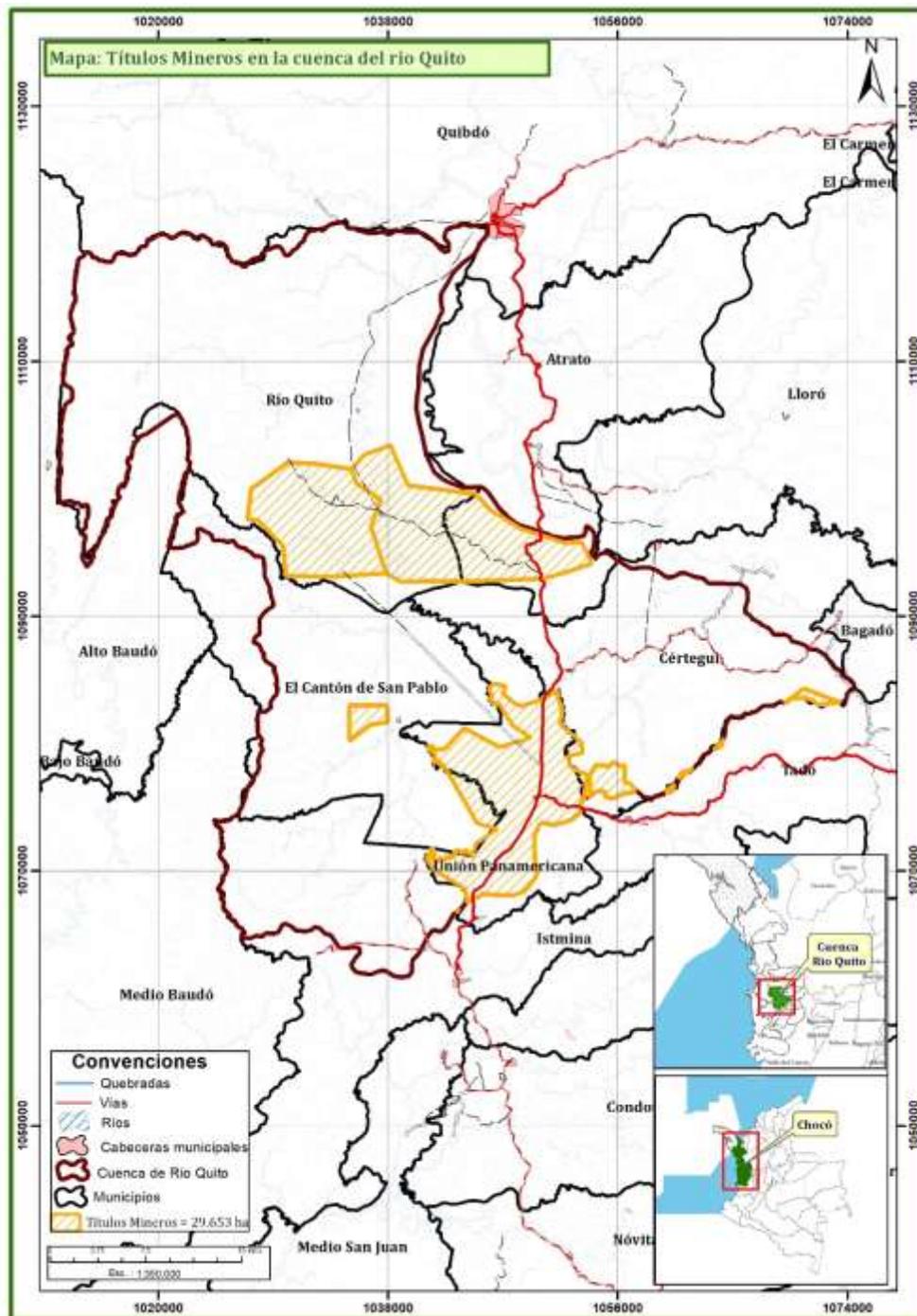


Figure 23. Títulos mineros en la zona de estudio

Fuente: Igac, Autor

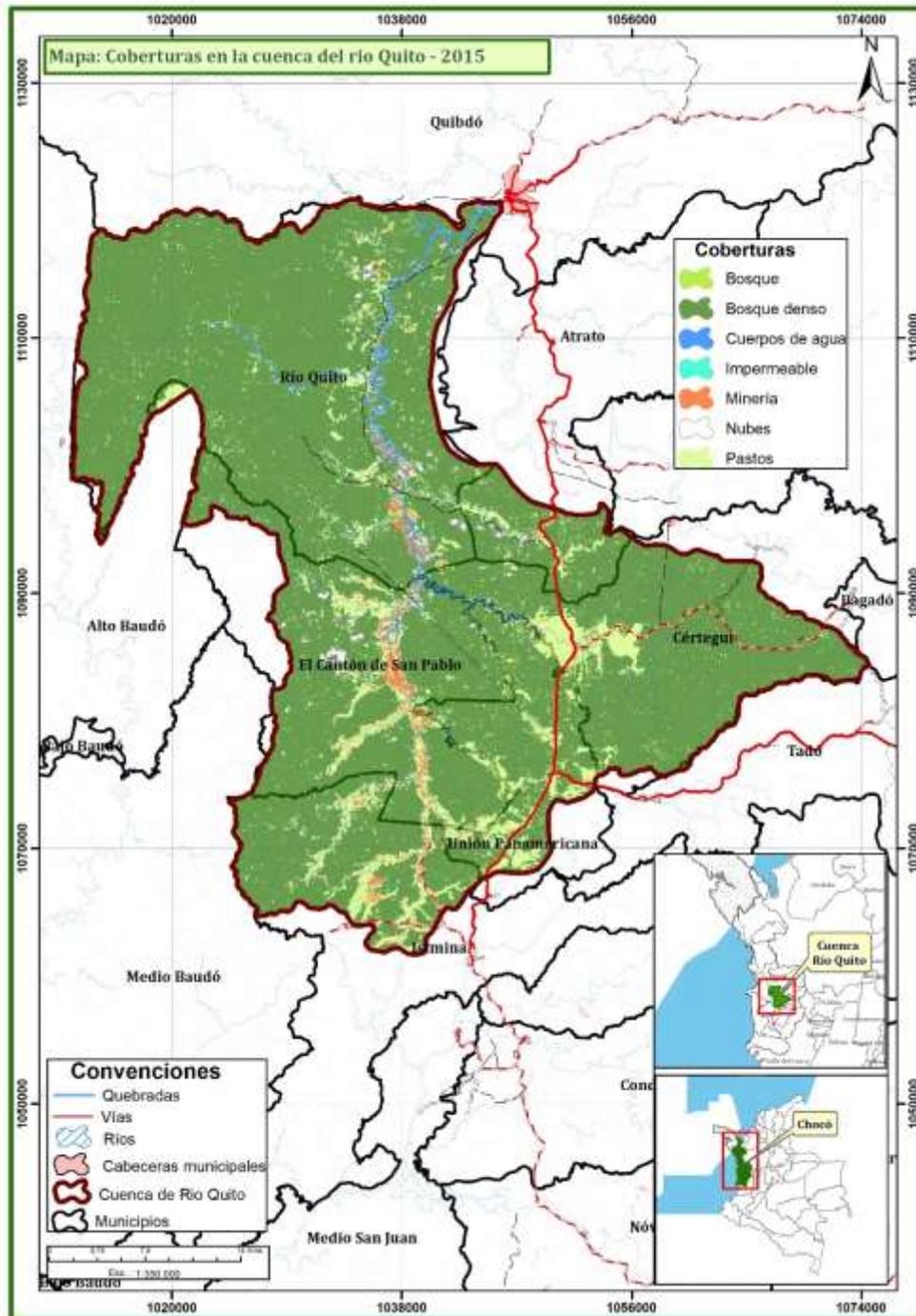


Figure 24. Clasificación de coberturas 2015

Fuente: Google Earth Engine

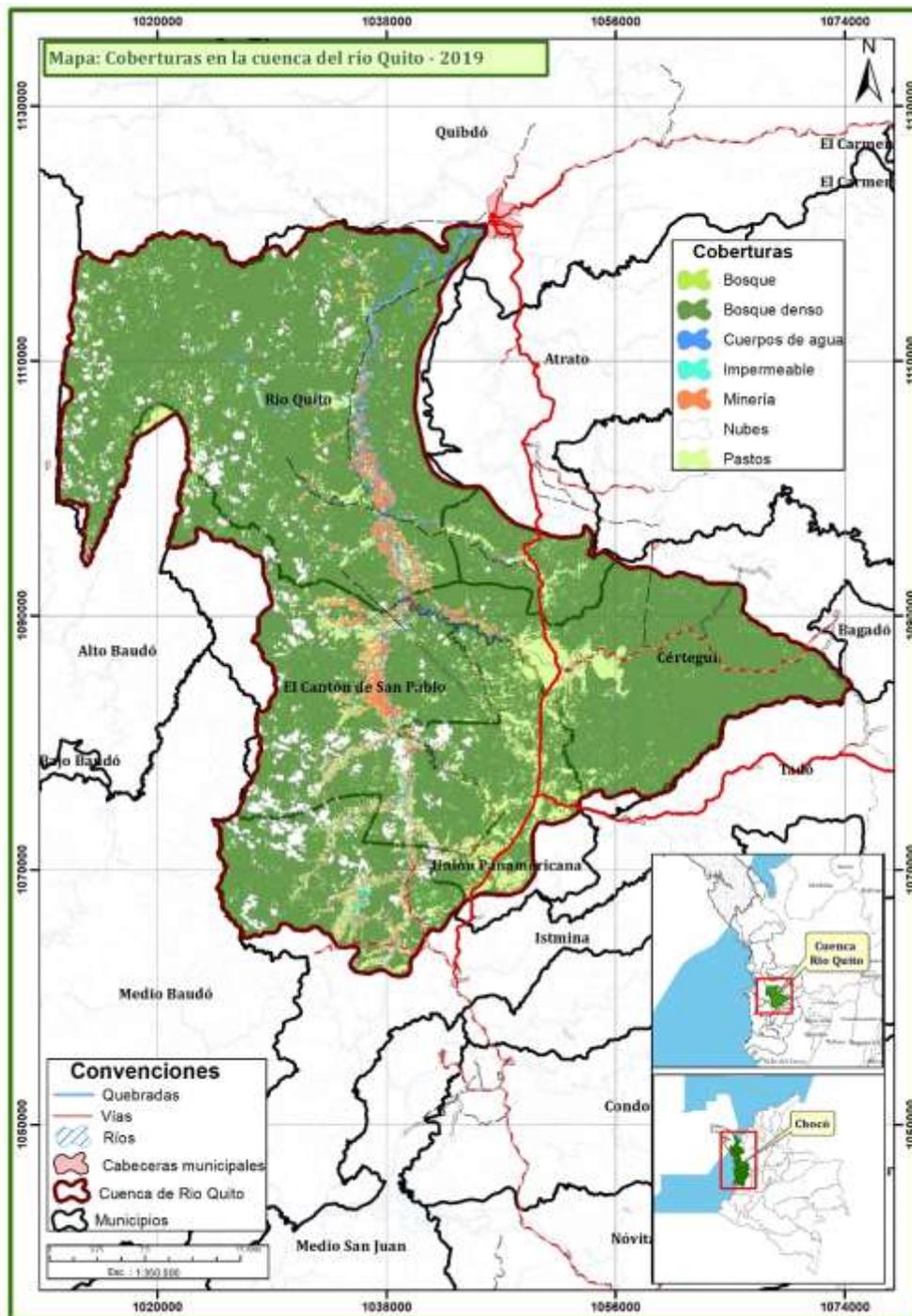


Figure 25. Clasificación de coberturas 2019

Fuente: Google Earth Engine

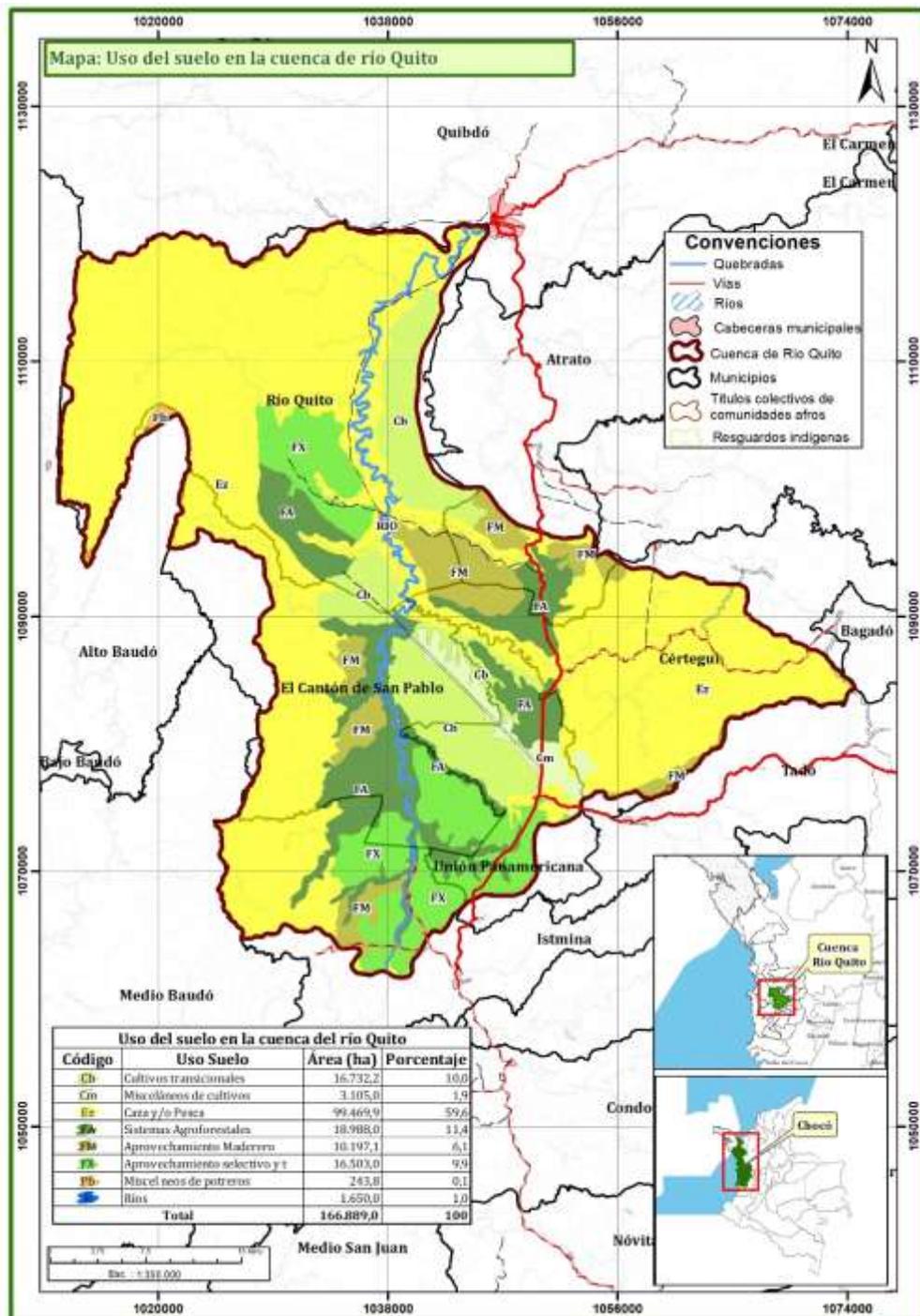


Figure 26. Uso del suelo en la cuenca del río Quito

Fuente: Agrología IGAC 2017

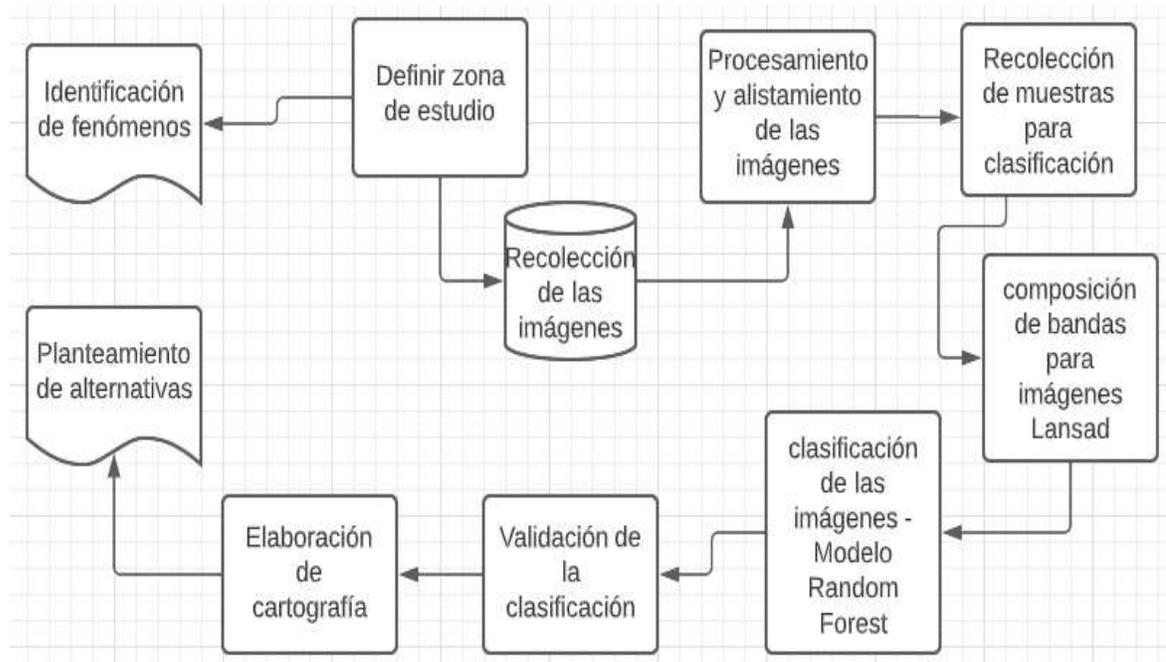


Figure 27. Diagrama de proceso

Fuente: Grinand Clovis, Gond Valéry et al, 2013