

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE PERDIDA COBERTURA VEGETAL Y SU  
RELACION CON LOS MOVIMIENTO EN MASA APARTIR DE LA EVIDENCIA DE  
OCURRENCIAS CONOCIDAS (INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS)  
DEL MUNICIPIO DE CARTAGO, VALLE DEL CAUCA**

**CARLOS ANDRES CUELLAR MANIOS**

**PEDRO SERNA CORREA**

**MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL  
TÍTULO DE: ESPECIALISTAS EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE  
DESASTRES**

**DIRECTOR:**

**JOHN MAKARIO LONDOÑO BONILLA, PHD.**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**MANIZALES JUNIO 2021**

## TABLA DE CONTENIDO

### RESUMEN

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>8</b>
<b>2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....</b>	<b>10</b>
<b>3. PREGUNTA DE INVESTIGACION.....</b>	<b>13</b>
<b>4. JUSTIFICACION.....</b>	<b>14</b>
<b>5.OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Obejtivo General.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Objetivos Especificos .....</b>	<b>15</b>
<b>6. CONTEXTO GEOGRAFICO DE ESTUDIO .....</b>	<b>16</b>
<b>7.MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>17</b>
<b>8. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
<b>8.1 Teledetección .....</b>	<b>23</b>
<b>8.2 Imágenes landsat.....</b>	<b>23</b>
<b>8.3 Corine land cover (CLC).....</b>	<b>23</b>
<b>8.4 Análisis multitemporal .....</b>	<b>28</b>
<b>8.5 Sistema de información geográfica (SIG).....</b>	<b>29</b>
<b>8.6 Cobertura vegetal.....</b>	<b>30</b>
<b>8.7 Proceso de movimiento en masa .....</b>	<b>32</b>
<b>8.8 Inventario de procesos morfodinámicos .....</b>	<b>38</b>
<b>9. MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>40</b>
<b>10. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>42</b>
<b>11. METODOLOGIA .....</b>	<b>45</b>

<b>11.1 FASE 1. Obtención y caracterización de las imágenes satelitales. ....</b>	<b>45</b>
<b>11.2 FASE 2. Procesamiento de las imágenes satelitales en el software arcgis .....</b>	<b>47</b>
<b>11.3 FASE 3. Implementación de la metodología corine land cover .....</b>	<b>49</b>
<b>11.4 FASE 4. Analisis visual de imágenes y interpretacion de la informacion .....</b>	<b>53</b>
<b>11.5 FASE 5. Cuantificación de la información y elaboración de cuadros estadísticos .....</b>	<b>54</b>
<b>12. RESULTADOS E INTERPRETACION .....</b>	<b>55</b>
<b>12.1 Análisis multitemporal 2010 .....</b>	<b>55</b>
<b>12.2 Análisis multitemporal 2014 .....</b>	<b>57</b>
<b>12.3 Análisis multitemporal 2020 .....</b>	<b>59</b>
<b>12.4 Análisis de pérdida de cobertura años 2010-2020.....</b>	<b>61</b>
<b>12.5 Análisis de pérdida de cobertura años 2010-2014.....</b>	<b>62</b>
<b>12.6 Análisis de pérdida de cobertura años 2014-2020.....</b>	<b>63</b>
<b>12.7 Multitemporal coberturas de la tierra años 2010,2014,2020 .....</b>	<b>64</b>
<b>12.8 Inventario de procesos Morfodinámicos para el Municipio de Cartago Valle del Cauca.....</b>	<b>65</b>
<b>12.9 Análisis enlace de información entre pérdida de cobertura vegetal y inventario de proceso morfodinámicos.....</b>	<b>67</b>
<b>13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>14. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>74</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1. Localizacion del municipio de cartago .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra en Colombia.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 3. Estructura del modelo de datos.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 4. Caracterización Geoambiental.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 5. Procesamiento de las imágenes satelitales.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 6. Clasificación supervisada.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 7. Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC).....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 8. Información secundaria entidades públicas y privadas.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 9. Mapa de cobertura de la tierra del área de estudio 2010 .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 10. Mapa de cobertura de la cobertura del área de estudio 2014 .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 11. Mapa de cobertura de la tierra del área de estudio 2020 .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 12. Grafico de los Movimientos en masa del Municipio de Cartago .....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 13. Pérdida de coberura vegetal 2010-2020.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 14. Cambio de la perdida cobertura 2010-2020 Areas en amenaza por remosion en masa.....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1. Dominios de las coberturas .....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 2. Tipos de movimientos en masa .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 3. Causas de los movimientos de remoción en masa .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 4. Características de las imágenes satelitales.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 5. Especificaciones técnicas de las Bandas espectrales de los satélites Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI -TIRS .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 6. Combinación de bandas para la identificación de coberturas en imágenes Landsat.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 7. Metadato Cobertura de la Tierra – Capa Geográfica.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 8. Distribución porcentual de los tipos de cobertura área de estudio 2010 ..</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 9. Distribución porcentual de los tipos de cobertura área de estudio 2014 ..</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 10. Distribución porcentual de tipos de cobertura área de estudio 2020 .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 11. Análisis multitemporal 2010-2020 .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 12. Análisis multitemporal 2010-2014 .....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 13. Análisis multitemporal 2014-2020 .....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 14. Multitemporal 2010,2014,2020 .....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla 15. Inventario de movimientos en masa Municipio de Cartago .....</b>	<b>66</b>

**TABLA DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1. Componentes del SIG.....</b>	<b>30</b>
<b>Ilustración 2. Caída de roca. ....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 3. Esquema de vuelco en bloque.....</b>	<b>34</b>
<b>Ilustración 4. Esquema de un deslizamiento traslacional. ....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 5. Esquema de un deslizamiento rotacional.....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 6. Esquema de expansiones laterales. ....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 7. Esquema de flujos canalizados y no canalizados.....</b>	<b>37</b>

## RESUMEN

Se realizó un estudio de la pérdida de cobertura vegetal para el municipio de Cartago Valle de Cauca, mediante un análisis multitemporal entre los años 2010-2020. Este estudio permitió la identificación de las diferentes coberturas con las cuales cuenta el municipio. Para ello se utilizó el programa ArcGIS en el procesamiento de las imágenes satelitales, se aplicó la metodología Corine land cover adaptada para Colombia, la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra. Además, se cuantificó utilizando tablas para registrar los datos y luego realizar sus análisis sobre la pérdida.

Mediante información secundaria de base de datos como la de SIMMA, “desinventar” y la oficina municipal de gestión del riesgo de desastres de Cartago, se recopilaron los inventarios de procesos morfodinámicos, es decir, las ocurrencias de los movimientos en masa para el municipio entre los años 1999 al 2020, para luego enlazar la información y poder establecer la relación entre la pérdida de cobertura vegetal e inventarios de los movimientos en masa.

Entre los resultados se destaca que la mayor pérdida ocurrió entre los años 2010 a 2014 y dentro los años 2014 a 2020 se recuperó. A su vez, con el inventario se observa que los movimientos en masa también incrementaron, en especial para el 2014. Para el periodo de tiempo 2014 al 2020 se nota que las coberturas tuvieron recuperación, pero los fenómenos de movimientos en masa siguen siendo recurrentes y aumentando. Por esta razón, se puede concluir que sí existe una relación entre la pérdida de cobertura y los movimientos en masa para el municipio de Cartago en el período analizado.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las necesidades del ser humano lo han llevado a un estado de consumismo, a tal modo que ha generado una expansión de actividades como la agricultura, la urbanización y la industria; afectando los componentes del ecosistema como, el agua y el suelo, alterando la pérdida de cobertura vegetal de forma irreversible, desencadenando problemas para las especies que la habitan y dependen de dicha cobertura. (Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2017)

La cobertura vegetal tiene un papel fundamental en la protección de los suelos ante los procesos de erosión que se son causados por eventos de precipitación, de igual manera conserva la humedad en el suelo que a su vez este contribuye a la proliferación de nutrientes, además al crecimiento de nuevo material vegetal que permite la regulación del ciclo hidrológico. (Gonzalez Bastidas Estefania, 2020)

Estudios revelan que 800.000 km<sup>2</sup> que representaban la cobertura original en el país, para el año 2000 quedaba cerca del 1,5% (Márquez, 2000) para los años del 2010 un 3% (Barraza, 2010) y para el año 2014 en 8% (García et al, 2014).de acuerdo a estas estadísticas se podrían interpretar como una recuperación de la cobertura (Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2017)

La reducción de la cobertura de vegetal más drástica ocurrió entre las décadas de los 50 y los años 80 a raíz de la gran intensificación de las actividades agrícolas en la región del valle del Cauca. Basados en trabajo de información cartográfica y satelital se ha podido cuantificar la cobertura vegetal, abriendo también la apertura de encontrar otro tipo de coberturas naturales diferentes a las cultivadas y boscosas. (Alvarado-Solano & Otero-Ospina, 2017)

Con el pasar del tiempo Colombia a sufrido una serie de fenómenos asociados a amenazas naturales y antropico como lo son las sequias, inundaciones, incendios forestales movimientos en

masa, estos ultimos; algunos estudios demuestran que la presencia cobertura vegetal brinda estabilidad al terreno (taludes, zonas de alta pendientes), determinado mediante mecanismos hidrológicos, y mecanismo mecánicos (Marín Sánchez Roberto, 2017) es de esta forma que surge la importancia de realizar un análisis de la pérdida de cobertura vegetal el municipio de cartago mediante el estudio multitemporal en un periodo de tiempo de diez años y poder establecer la relación que existe entre los movimientos en masa de acuerdo a esta problemática evidente.

De acuerdo con la información consolidada y analizada, se construirá un informe final explicando la problemática, para finalmente darle apertura a nuevas investigaciones y a la toma de decisiones frente a la generación de un municipio sostenible.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La cobertura vegetal se puede definir como la porción de la capa de vegetación natural, donde se evidencia la interacción entre factores bióticos y abiótico, a esto, desde la parte biológica se le conoce como ecosistema. (Javier Álvarez del castillo, 2013), determinado características fisionómicas y ambientales encontradas desde los pastizales hasta las que cubren las áreas de los bosques naturales. (Geoinstitutos, 2010).

Anualmente, el Global Forest Watch (GFW) del Instituto de Recursos Mundiales (WRI), permite visualizar información de la magnitud por pérdida de cobertura vegetal en el mundo. A pesar de los esfuerzos para reducir la deforestación, la pérdida de cobertura vegetal en los trópicos ha aumentado constantemente en la última década. Según estudios en el 2018 se perdieron más de 24.7 millones de hectáreas de cobertura. Esto nos asemeja en tamaño al área de gran Bretaña, teniendo en cuenta que los 5 países con mayor cantidad de hectáreas pérdidas son Rusia, Brasil, Canadá, estados unidos y la república democrática del Congo, representando el 57% del total de hectáreas de cobertura vegetal perdidas en el mundo. (Portillo, 2019).

Entre los años 1985 y 2018 en Suramérica se han perdido 72,4 millones de hectáreas de cobertura vegetal natural del amazonia, esto equivale al área del territorio de Chile, donde Colombia aportó 1,4 millones de hectáreas, dando a conocer que se redujo su cobertura vegetal en un 3%, ubicándola como el cuarto país que más ha perdido cobertura vegetal. (Sostenible, Semana, 2020).

“En Colombia se deben aplicar principalmente dos actividades para la conservación de los suelos: mantener a toda costa las coberturas vegetales y un elevado porcentaje de materia orgánica; factores de resiliencia frente a las condiciones de sequía”. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2015).

En el departamento del valle de la cuaca, estudios realizados arrojan que, durante los últimos 16 años, se observa una aceleración de pérdida de cobertura vegetal, donde en el año 2014 su pérdida fue de un 51%. Las áreas naturales en el período de estudio, se concentraron en las riberas del río Cauca y afluentes, madres viejas y humedales, así como en el piedemonte y laderas. En estos últimos, el cambio hacia pasturas para ganadería, ha generado procesos erosivos que se ven reforzados por las condiciones climáticas locales, especialmente en el costado oriental de la cordillera Occidental. (Otero-Ospina, 2017)

El suelo al perder su cobertura vegetal natural, da inicio al deterioro de sus condiciones, trayendo consigo consecuencias negativas en la fertilidad y la productividad del suelo, y a su vez dejando un paisaje desértico. (Latinoam, 2008). La conversión de la cobertura vegetal de bosque seco juega un papel importante para conservar los hábitats para diferentes especies (Otero-Ospina, 2017), pero esta conservación de la cobertura, es frágil ante las perturbaciones antrópicas, afectando directamente los ecosistemas tropicales, que a su vez alteran los ciclos biogeoquímicos y las condiciones climáticas, abriendo paso a la reducción de árboles, dejando al descubierto los suelos y al momento de caer las gotas de lluvia sobre este, se forman costras que van bloqueando la porosidad del suelo, que impiden la filtración de agua, originando de esta forma el escurrimiento superficial y transporte de tierra. Según los especialistas esta es la causante del 95% del proceso de erosión, de tal modo que el contexto del cambio climático a deforestación y degradación de bosques aporta entre el 6 y 17 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (Otero-Ospina, 2017).

De igual manera producto de esta pérdida de cobertura, se pueden desatar fenómenos amenazantes de origen natural, origen antrópico, influyendo en el desencadenamiento de movimiento en masa ya que al tener poca cobertura vegetal los taludes estarán al descubierto,

perdiendo estabilidad el terreno, es decir que esta actúa como protección de factores externos como es el caso de lluvias intensas o sismos (Espejo delgado, 2018)

La carencia de estudio en el municipio de Cartago valle de cauca, frente a la pérdida de cobertura vegetal natural, no permite establecer una medición exacta, minimizando esta problemática, cuando es de vital importancia a la hora de hablar de mitigación y adaptación al cambio climático.

### **3. PREGUNTA DE INVESTIGACION**

¿Cuál es la pérdida de cobertura vegetal durante los años 2010, 2014, 2020 y su relación con los movimientos en masa, a partir de la evidencia secundaria de ocurrencias conocidas, inventario de procesos morfodinámicos en el municipio de Cartago valle del cauca?

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

la pérdida de cobertura vegetal natural, que se presenta en la actualidad en el municipio de Cartago valle del cauca es un problema que requiere atención, mediante un análisis multitemporal se podrá establecer; cuanta es la pérdida en un periodo de tiempo para su posterior cuantificación.

Mediante un análisis de inventario de procesos morfodinámicos, se establezca la relación entre los movimientos en masa y la pérdida de cobertura vegetal, confrontando teorías sobre esta relación entre los dos eventos.

El analizar los resultados obtenidos de dicha investigación, será de vital importancia para el municipio de Cartago, con el fin de, poder combatir con estrategias de mitigación y adaptación a dicha problemática. Así mismo permitirá delimitar, las consecuencias que pueden ser perjudiciales a largo plazo, evaluar los tipos de riesgos que se generan y obtener un panorama de qué, tan preparado se encuentra el municipio para afrontar cualquier evento que se manifieste.

Finalmente, el incentivo para realizar la investigación, es poder contribuir al desarrollo sostenible de una región, con estudios que permiten avanzar, en combatir una problemática mediante la unión de una comunidad y las entidades públicas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo General**

Cuantificar la pérdida de cobertura vegetal durante la última década, mediante un análisis multitemporal y su relación con los movimientos en masa a partir de la evidencia inventario de procesos morfodinámicos para el municipio de Cartago Valle del Cauca.

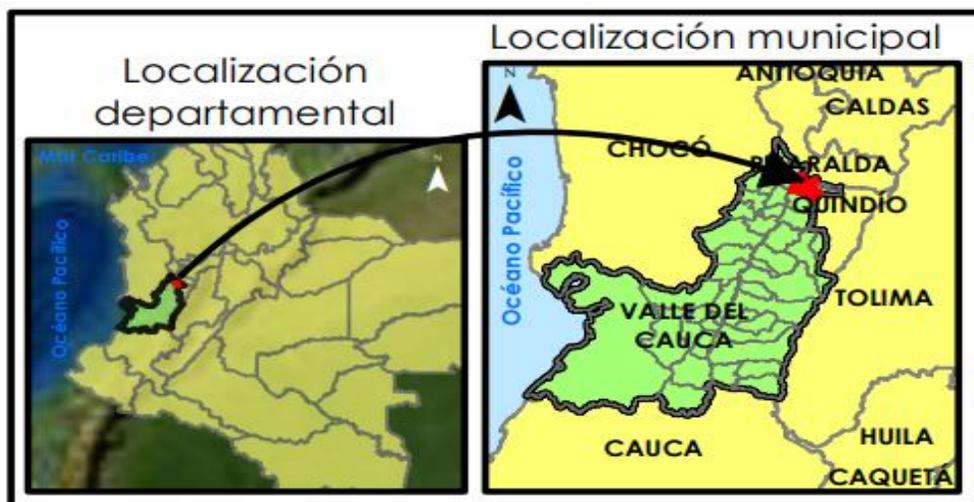
### **5.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar análisis multitemporal de la cobertura vegetal, utilizando la metodología Corine Land Cover bajo combinación espectral de imágenes satelitales (Landsat),
- Establecer la relación de los movimientos en masa y pérdida cobertura vegetal a partir de información secundaria del inventario de procesos morfodinámicos.

## 6. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE ESTUDIO

Cartago es un municipio perteneciente al departamento del valle del cauca, ubicado dentro del territorio colombiano, conocida como la Villa de Robledo y considerada la ciudad del “sol más alegre de Colombia” o “la ciudad del sol”, por ser una de las ciudades de más luminosidad en el mundo (Municipio de Cartago, 2012a). Está situada al nororiente del departamento del Valle del Cauca, sobre la parte plana del valle de los ríos Cauca y La Vieja, extendiéndose hasta el piedemonte occidental de la cordillera Central, y alcanzando alturas entre 907 y 1600 metros sobre el nivel del mar (Alcaldía de Cartago, 2020). El municipio delimita por el norte con el municipio de Pereira; por el sur, con el municipio de Obando; por el oriente, con los municipios de Ulloa, Alcalá y Quimbaya; y por el occidente, con los municipios de Ansermanuevo y Toro. El perímetro aproximado del municipio es de 105 km, con una extensión de 23.238 ha, de las cuales 1.434 ha corresponden a la zona urbana y 21.803 ha 6.186 m<sup>2</sup> a la zona rural.

**Figura 1.** Localización del municipio de Cartago



Fuente: Elaboración propia

## 7. MARCO REFERENCIAL

El análisis multitemporal de la cobertura vegetal, en zonas de erosión y dirección de cauce, en la cuenca del río bravo sur, comprendido desde el municipio de Soacha en el departamento de Boyacá hasta el municipio de Yopal en el departamento del Casanare, en los periodos de tiempos comprendido de los años 1985, 1990, 2001, 2009 y 2017, sirvió para desarrollar el proyecto que implementó el procesamiento de las imágenes Landsat, que contribuyeron a la optimización y mejora de la calidad visual, que permitieron resaltar características y diferenciar rasgos del área. Mientras que el análisis de cobertura vegetal, se realizó mediante una clasificación supervisada, identificando los diferentes tipos de coberturas que se presentan en el área de estudio, con base en la metodología Corine Land Cover, para posteriormente cuantificar las coberturas, que mayores cambios han sufrido a lo largo del tiempo. (Peralta, 2018)

“Las variaciones de la cobertura vegetal y la erosión, son un indicador de las tendencias en los cambios relacionados con agentes climáticos, agricultura, ganadería, expansión urbana, entre otros. Por lo tanto, es importante en el ámbito ambiental y de la planificación del territorio, entender su dinámica, para de esta manera facilitar la toma de decisiones enfocadas a un desarrollo sostenible del territorio”. (Peralta, 2018)

La caracterización de coberturas vegetales en el Páramo de Rabanal en el marco del proyecto “Páramos y sistemas de vida”, correspondiente a los municipios de Ráquira, Guachetá, Ventaquemada, Samacá y Lenguazaque. (Ortega, 2013)

En la metodología implementada y adoptada por el proyecto, se seleccionaron nueve unidades de paisaje con base en los mapas de coberturas vegetales (escala 1:25.000), los cuales

corresponden a: Mosaico de pastos y cultivos (242), Mosaico de pastos cultivos y espacios naturales (243), Plantación forestal (315), Arbustal denso (3221), Arbustal abierto (3222), Vegetación secundaria baja (3232), Bosque bajo denso de tierra firme (31121), Herbazal denso de tierra firme sin arbustos (321111) y Herbazal denso de tierra firme con arbustos (321113), dado que representan las coberturas vegetales principales del Páramo de Rabanal. (Ortega, 2013)

“Se identificaron tres tipos básicos de cobertura vegetal: Herbazal, Arbustal y Bosque; para cada uno de estos fue necesario realizar la adaptación metodológica con base en las características fisionómicas de la vegetación y la disponibilidad al acceso de la zona donde se localizaban”. (Ortega, 2013)

Para el estudio de cobertura vegetal sobre la cuenca del río la vieja, desarrollado por la corporación autónoma regional del Valle del Cauca (CVC) se documentó y entregó el mapa de cobertura vegetal, elaborado con imágenes de satélite RapidEye, obteniendo resultados que muestran la distribución de áreas entre las distintas clases de cobertura de la tierra encontradas en la cuenca. A su vez se realizó un análisis multitemporal de coberturas mediante la comparación de un ortofoto-mosaico construido con fotos aéreas de 1950 de las cuales se tenía disponibilidad y las coberturas actuales de la cuenca, en un área que representa el 73.5% (CVC, 2017).

El análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la reserva forestal protectora, productora “casa blanca” en Madrid Cundinamarca entre los años 1961 y 2015 de las áreas protegidas de la cuenca alta del Río Bogotá.

La metodología que se implementó se basó en un proceso de fotointerpretación para la identificación, clasificación y análisis de las coberturas vegetal y usos del suelo a escala 1:5.000, a partir de fotografías aéreas de la zona de estudio para los años 1961,1987. Así mismo realizaron una revisión bibliográfica de la normatividad existente sobre RFPP y la inclusión de estas áreas protegidas en el ordenamiento territorial municipal.

Como resultado de este trabajo, se puede concluir que la principal actividad que ha influenciado la desaparición de cobertura (vegetación nativa) y la aparición de otras (zonas degradadas y redes viales) es la explotación de materiales de construcción (Torres, 2017).

El análisis de la dinámica de la coberturas en los años 2001,2013 y 2016 para el municipio de Mocoa - Putumayo, se evidencio que se presentaron perdidas de coberturas boscosas, además del aumento de coberturas urbanas y al realizar el análisis de la susceptibilidad a movimientos en masa, junto al componente cobertura de la tierra, se definió que el municipio posee susceptibilidad media y alta en su gran mayoría, por último para validar los resultados obtenidos se realiza una interpretación de coberturas después del desastres presentado en el año 2017 en Mocoa, en la cual se identificó espacialmente las áreas afectadas por los derrumbes, siendo estas en gran mayoría tejidos urbanos. De acuerdo al análisis de susceptibilidad realizado, se puede evidenciar el riesgo al que se encontraban expuestas al estar catalogadas con gran pérdida de coberturas naturales y susceptibilidad alta, confirmando que la aplicación de la metodología utilizada en la investigación basada en la guía de susceptibilidad del Servicio Geológico Colombiano año 2017, brinda resultados reales para el análisis de este tipo de eventos, también esta información debería ser clave a la hora de montar la planificación de los diferentes

territorios colombianos, con el fin de evitar o minimizar los efectos de estos desastres (Espejo, 2018).

Una de las zonas con mayor distribución potencial de bosque seco en Colombia es el valle geográfico del río Cauca. La actividad agrícola intensiva en esta zona ha sido uno de los principales factores de degradación desde mediados del siglo XX. Este estudio permite la identificación del área natural que han persistido en el valle desde los años 1984 -2014 en el departamento del Valle del Cauca usando información cartográfica y satelital (Landsat TM5 y OLI), obteniendo resultados que “señalan que pese a la reducción del 50% en las áreas naturales a causa del aumento del 72% de áreas cultivadas, el 26% han persistido desde 1984”. Las áreas naturales identificadas en el periodo de estudio representan la oportunidad para buscar mecanismos que permitan iniciar procesos de la restauración ecológica y a su vez el monitoreo de la cobertura vegetal del bosque seco en el Valle del Cauca, teniendo en cuenta que son pocos los remanentes que todavía conservan sus características y funciones propias de este bioma, además la conectividad deficiente entre estos. (Alvarado & Otero, 2017).

La investigación de las causas de pérdida de cobertura vegetal en el occidente hondureño ha revelado datos donde la deforestación ha aumentado en zonas de mayor elevación y lejanas a carreteras principales, además el aumento de rentabilidad en el uso del suelo en áreas que eran de muy difícil acceso (Paz, 2019).

Los monitoreos en el occidente por la plataforma Terra-i Honduras revelan el incremento de las áreas de cultivo principalmente de café, la presencia de plagas forestales y la tala ilegal que proporcionan el aumento de áreas destinadas a la agricultura a esto sumado la expansión

poblacional en áreas urbanas continuas y discontinuas, todas estas se definen como principales causas directa e indirectas proporcionando el cambio en las coberturas de bosque denso a no bosque (Paz, 2019).

La metodología aplicada en esta investigación se baso en un muestreo, donde se seleccionaron áreas de influencia de 1y 3 km en 12 vías principales y 11 secundarias basado en el concepto de áreas de influencia , teniendo en cuenta el modelo de crecimiento y expansión de los asentamientos, de igual forma, se realizo la estimación de áreas o cambios en áreas diferentes coberturas y usos del suelo apoyados en dones para la toma de imágenes y posterior mente procesadas con el software Pix4D Mapper (Paz, 2019).

Los deslizamientos de gran magnitud en la cuenca del Rio Caramacate localizada en Serranía del Interior en la Cordillera de la Costa Central de Venezuela llevan a la revisión de las imágenes pancromáticas y ortofotomapas observándose un deterioro significativo de la cubierta vegetal, específicamente en los pisos tropical. Para la investigación se utilizaron índices de susceptibilidad a deslizamientos, para comparar porciones de paisajes con diferente litología en la Cuenca del Rio. Este índice, calculado como el cociente de cicatrices de erosión en cada porción de paisaje y en toda el área estudiada. “Los autores de la investigación demostraron, por medio de un análisis de regresión logística, la alta susceptibilidad a deslizamientos en laderas con escasa cobertura vegetal, estimada a partir de valores de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)”, pero se deben tener presente que algunos tipos de movimientos en masa pueden estar enmascarados por diferentes factores como: procesos de erosión, crecimiento de la cobertura vegetal, actividad humana y efectos del tiempo demostrando que uno de los factores

mas influyentes sobre ocurrencia de movimientos en masa es la cobertura y a su vez esta permite evaluar la determinación indirecta del efecto de la intervención humana (Pineda, 2016)

## **8. MARCO TEÓRICO**

### **8.1 Teledetección**

La Teledetección, está conformada por una serie de técnicas, para la localización y recogida de la información de fenómenos a distancia, sin que para su utilización y recopilación se tenga algún contacto físico con el objeto o fenómeno de interés. Algunas de sus aplicaciones más interesantes son: la contaminación atmosférica, vertimientos de petróleo, movimientos de los océanos, geomorfología, seguimiento dinámico del estado de la vegetación.

Dentro de estas las más utilizadas son las imágenes de satélite que nos proporciona la constelación de satélites **Landsat** (alonso, 2017).

### **8.2 Imágenes landsat**

Landsat es una constelación satélite, estas están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, son elegidas preferiblemente para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y estudio de los recursos naturales. Estas bandas pueden combinarse generando nuevas imágenes que incrementan notablemente sus aplicaciones, así mismo son catalogadas como una buena alternativa para proceder a realizar estudios multitemporales (alonso, 2017).

### **8.3 Corine land cover (CLC)**

Los principales promotores en el estudio sobre la cobertura de la tierra fue la comunidad europea, además empezaron a implementar un programa en los años 1990 cuyo nombre recibió el de CORINE (Coordination of Information on the Environment), cuyo objetivo fue determinar y definir una metodología idónea, adecuada y lo más precisa para generar el inventario de la cobertura de la tierra. Actualmente cuenta con una base de datos robusta para la clasificación de

cobertura y a partir de este proyecto se emplea para la toma de decisiones políticas relacionadas con el medio ambiente (IDEAM, 2009).

Colombia se ha propuesto estandarizar un sistema de clasificación, de tipo jerárquico para las coberturas mediante la metodología europea de CORINE Land Cover, adaptándola a las características y condiciones territorio colombiano (IDEAM, 2009).

La metodología CORINE Land Cover nos muestra grandes ventajas, una de las más importantes, es la que permite obtener una capa de cobertura de la tierra de una manera relativamente sencilla, brindando una buena relación entre calidad-costo. La aplicación de esta metodología permite realizar análisis multitemporales de los diferentes conceptos de cobertura (IDEAM et al., 2008).

Esta metodología adaptada para Colombia, permitió generar la clasificación esquemática de la cobertura de forma específica, dividiéndolos en 5 grupos, a saber:

- Territorios artificializados.
- Territorios agrícolas.
- Bosques y áreas seminaturales.
- Áreas húmedas.
- Superficies de agua

**Territorios artificiales:** estos son aquellos que comprende áreas pobladas, es decir las ciudades o pueblos y zonas periféricas que se han plantado en el proceso de transformación para fines comerciales, industriales y de servicios recreativos (IDEAM, 2010).

**Territorios agrícolas:** son aquellos terrenos que se destinan al cultivo de materiales primas para luego mediante un proceso industrial o ningún proceso, permiten suplir necesidades del ser humano, entre ellas la alimentación, además esta categoría de pastos en cultivos, que se

pueden generar en rotación y en descanso o barbecho. “Abarca las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas” (IDEAM, 2010).

**Bosques y áreas seminaturales:** estas áreas son las que conforman el grupo de coberturas vegetales de tipo arbustivo, herbáceo y boscoso, la cuales se pueden encontrar en diferentes pisos altitudinales, también incluyen otro tipo de coberturas como las plantaciones forestales y la catalogadas como vegetación secundaria o en transición (IDEAM, 2010).

**Áreas húmedas:** son aquellas coberturas conformadas por terrenos inundables, que a su vez también pueden estar también cubiertos por una capa de vegetación (IDEAM, 2010).

En este orden de ideas el modelo de almacenamiento de datos comprende una estructura en la cual se define cada una de las características biofísicas de la tierra.

En la figura 2 se mencionan los tipos de coberturas, y sus niveles con sus respectivos códigos.

**Figura 2.** Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra en Colombia

LEYENDA NACIONAL DE COBERTURAS DE LA TIERRA - COLOMBIA	
<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
<b>1.1. Zonas urbanizadas</b>	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme
<b>1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación</b>	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
<b>1.3. Zonas de extracción minera y escombreras</b>	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
<b>1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</b>	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativa	<b>3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
<b>2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS</b>	3.2.1.1. Herbazal denso
<b>2.1. Cultivos transitorios</b>	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.2.3. Arracachal
<b>2.2. Cultivos permanentes</b>	3.2.1.1.2.4. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2. Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3. Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4. Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5. Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6. Amapola	<b>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2. Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
2.2.2.3. Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4. Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5. Coca	<b>4. ÁREAS HÚMEDAS</b>
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	<b>4.1. Áreas húmedas continentales</b>
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas Pantanosas
2.2.3.2. Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3. Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4. Mango	<b>4.2. Áreas húmedas costeras</b>
2.2.4. Cultivos agroforestales	4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Salitral
<b>2.3. Pastos</b>	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	<b>5. SUPERFICIES DE AGUA</b>
2.3.2. Pastos arbolados	<b>5.1. Aguas continentales</b>
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50 m)
<b>2.4. Áreas agrícolas heterogéneas</b>	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	<b>5.2. Aguas marítimas</b>
2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra - Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia  
Escala 1:100.000, IDEAM 2010

Ahora bien, de acuerdo al Modelo de Almacenamiento Geográfico cada una de las coberturas identificadas están determinadas por un código y un dominico, según el tipo de datos, el componente y la entidad, es decir la capa geográfica de las coberturas obtenidas; en lo que

respecta al componente suelo, la estructura de los valores estipulados en este modelo, se presentan a continuación (Figura 3). De igual forma, en la tabla 1 se detallan los códigos para cada una de las categorías determinadas en el diccionario de datos del modelo de datos de la Corine Land Cover.

**Figura 3.** Estructura del modelo de datos

CÓDIGO (Tipo Dato)	EMA GENERAL O MEDIO	COMPONENTE/TABLAS Y RASTER	CÓDIGO (Comp./Raster)	CAPA GEOGRÁFICA/TABLA/RASTER	CÓDIGO (CG/T/R)	GEOMETRÍA/ TIPO DATO	ID ENTIDAD
V	MEDIO ABIÓTICO	<<SUELOS>>	14	<a href="#">Suelo</a>	01	Polígono	V1401
V			14	<a href="#">PuntoMuestreoSuelo</a>	02	Punto	V1402
V			14	<a href="#">UsoActualSuelo</a>	03	Polígono	V1403
V			14	<a href="#">CapacidadUsoTierra</a>	04	Polígono	V1404
V			14	<a href="#">ConflictoUsoSuelo</a>	05	Polígono	V1405

Fuente: Diccionario de datos Corine Land Cover, ANLA, 2013

**Tabla 1.** Dominios de las coberturas

<b>Dominio:</b>	<i>Dom_Clas_Cober</i>
<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
124	Aeropuertos
332	Afloramientos rocosos
322	Arbustal
312	Bosque abierto
314	Bosque de galería y/o ripario
311	Bosque denso
313	Bosque fragmentado
513	Canales
514	Cuerpos de agua artificiales
241	Mosaico de cultivos
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
244	Mosaico de pastos con espacios naturales
242	Mosaico de pastos y cultivos
211	Otros cultivos transitorios
232	Pastos arbolados
233	Pastos enmalezados
231	Pastos limpios
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados

511	Ríos (50 m)
111	Tejido urbano continuo
112	Tejido urbano discontinuo
333	Tierras desnudas y degradadas
141	Zonas verdes urbanas

Fuente: Diccionario de datos Corine Land Cover, ANLA, 2013

#### 8.4 Análisis multitemporal

Brinda el seguimiento de información adquirida, apoyándose mediante un sensor, bajo el recorrido de los satélites, cuyo objetivo consiste en planificar el tiempo de adquisición de las imágenes satelitales, para el lugar de interés en la fecha que sea más conveniente y que permita una mejor interpretación de la cobertura y/o el fenómeno a estudiar. (Peralta, 2018)

- Composiciones multitemporales: “Se basan en comparar visualmente los tonos o color que ofrecen dos o más imágenes de distintas fechas”. (Peralta, 2018)
- Diferencia entre imágenes: “Consiste en una simple resta entre las imágenes de dos fechas, previamente homogenizadas en cuanto a radiometría y geometría, permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios en un periodo de tiempo determinado, las zonas estables presentaran un valor cercano a cero, mientras las que hayan experimentado cambio presentan un valor diferente a cero”. (Peralta, 2018)
- Cocientes multitemporales: Es el intervalo que se presenta ente las imágenes con diferentes fechas. (Peralta, 2018)

- Regresión: Estima valores de una variable de interés a partir de otra que está fuertemente asociada a ella, en función de una relación numérica. (Peralta, 2018)
- Vectores multitemporales: “Incorpora no solo la importancia, sino también la dirección del cambio entre imágenes. El principio consiste en que si un pixel cambia su cobertura entre dos fechas también modificara su emplazamiento espectral. La magnitud del cambio vendrá dada por la longitud del vector que separa ambos puntos” (Peralta, 2018).

### **8.5 Sistemas de información geográfica (SIG)**

El sistema información geográfico nos permite el poder relacionar cualquier tipo de dato con una localización geográfico. Esto nos permite que con un solo mapa el sistema nos visualiza la distribución de recursos, poblaciones o edificaciones, comprendida por el área de estudio ya sea un municipio, departamento o todo un país. Para ello es necesario la combinación de herramientas como el hardware, software y los datos geográficos, reflejándolo de forma gráfica. Estos están diseñados para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar la información de manera coordinada y lógica (SI-GEO, 2018).

Los SIG a diferencia de otros software graficos, este no brinda una gran base de datos espacial, otorgandole una cualidad interesante a la hora de solucionar problemas que, afectan el espacio geografico de forma real. Ademas son fundamentales a la gestion o planificacion territorial o de la ordenacion teritorial (Ingeexpert, 2018).

La ilustración 1 nos permite visualizar los componentes de un SIG, con el fin de obtener resultados de excelente calidad.

**Ilustración 1.** Componentes del SIG.



Fuente: (Procorredor, 2011)

### **8.6 Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal se puede definir como el espacio que ocupa la vegetación en un determinado espacio o área, además hace parte de un ecosistema, ya que cumple funciones importantes para la conservación y protección de la fauna, la regulación del clima y controla la contaminación a nivel local (Vergara, 2017)

“Un estudio realizado para el Humedal Tibabuyes determina la importancia de la definición de diversas unidades de paisaje en el humedal, permitiendo identificar las diferencias

existentes entre cada uno de ellos, partiendo del principio que hay una estrecha relación entre los suelos, la cobertura vegetal y las condiciones hidrológica” (Gutiérrez, 2016).

Las coberturas vegetales cumplen un papel sumamente importante en cuanto a la preservación de las cuencas hidrográficas, ya que previene la erosión, preservación de los ecosistemas y en el recurso hídrico, sin embargo, estas se ven afectadas por las actividades humanas de manera inadecuada, causando de esta manera consecuencias drásticas en la vegetación y a su vez el aumento de las alteraciones en el ciclo hidrológico, es por ello que para mantener la preservación de los sistemas de agua; los bosques juegan un papel vital, pues con esto se garantiza que los suelos mantengan un equilibrio, reduciendo las consecuencias de caudales altos en épocas de lluvia y caudales bajos en épocas de sequía (Bastidas, 2020).

La presencia de cobertura sobre la superficie del suelo sirve como una pantalla protectora ante la incidencia directa de los rayos del sol, permitiendo la reducción a la insolación sobre el mismo. El resultado de esta acción protectora es la disminución de la evaporación del agua retenida en el suelo, suponiendo un mantenimiento de la humedad del mismo. (Climagri, s.f.)

“El proceso de adopción estandarización de la metodología y la leyenda de coberturas terrestres de Colombia, inició desde el año 2004 con la adaptación a nivel nacional de la metodología europea **CORINE Land Cover - CLC**; este proceso surge como respuesta a la necesidad que tenía el país de unificar y armonizar las diferentes metodologías y leyendas de cobertura terrestre empleadas hasta el momento, todo con el fin último de establecer un sistema de monitoreo que le permita generar información actualizada, confiable y trazable; dado que la amplia variabilidad de sistemas de clasificación no lo permitían” (IDEAM, 2014).

A partir de la adopción de la Metodología CLC para Colombia y de la definición de una leyenda unificada, se logra estandarizar esta importante fuente de información a nivel nacional. (IDEAM, 2014)

### **8.7 Proceso de movimientos en masa**

Estos son movimientos de la roca y de material no consolidado, en respuesta a la atracción de la gravedad y elementos como el agua, aire y viento estos denominados agentes geológicos de erosión, con una variedad de medio para su transporte, teniendo en cuenta que los ríos son los más destacados. (Duque, 2001). A su vez los movimientos en masa, pueden presentar algunas características como imperceptibles, difusos y lentos, pero algunos pueden desarrollar velocidades altas (Crozier M. J., 1999)

A continuación se mencionan algunos parámetros que influyen en los movimientos en masa (Duque, 2001):

- El tipo de material (clase de rocas, capa alterada y tipo de cobertura).
- Pendiente (gradiente, forma y longitud de laderas).
- Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos en masa).
- Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad periodo, la sismicidad y el vulcanismo).

#### **Tipos de movimientos en masa**

Dentro de la literatura científica existe muchas clasificaciones de los tipos de movimiento en masa de acuerdo al tipo de material, mecanismos de movimientos y grado de saturación,

grado de deformación del material (Baumann, 2007). En la Tabla 2 se exponen los tipos de movimientos en masa.

**Tabla 2.** Tipos de movimientos en masa

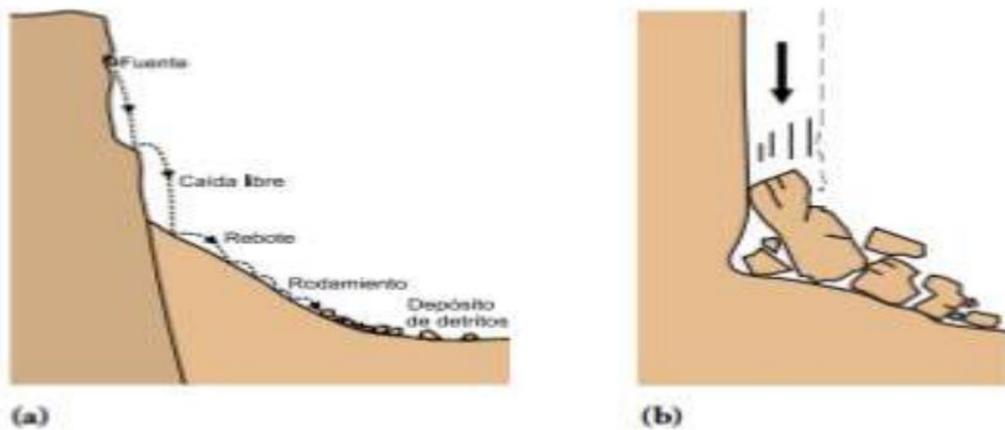
<b>Tipo</b>	<b>Subtipo</b>
Caídas	Caída de roca (detritos o suelos)
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
Flujo	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### **Movimiento en masa por caída:**

La ilustración 2, nos permite visualizar como es el compartimento de los movimientos en masa por caída, “el cual uno o varios bloques de roca o suelo se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un deslizamiento cortante apreciables” (PMA-GMA, 2007).

### Ilustración 2. Caída de roca.

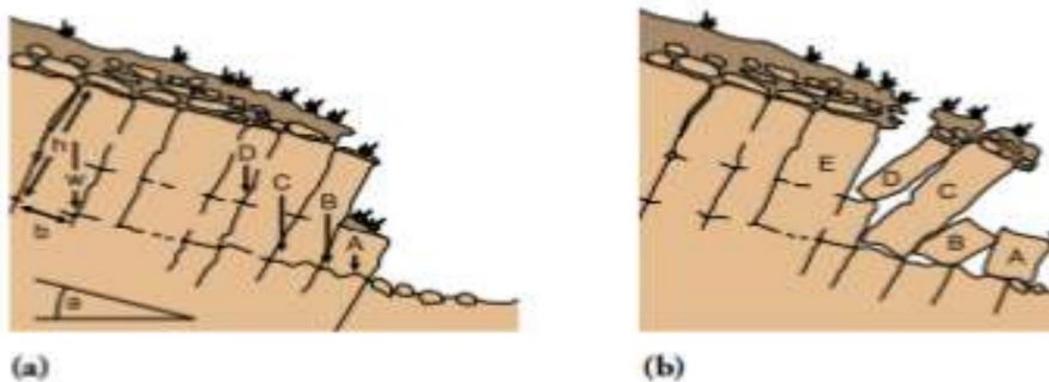


Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### Movimiento en masa por volcamiento:

La ilustración 3, nos permite visualizar como es el compartimento de los movimientos en masa por volcamiento, “el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior” (PMA-GMA, 2007).

### Ilustración 3. Esquema de vuelco en bloque.

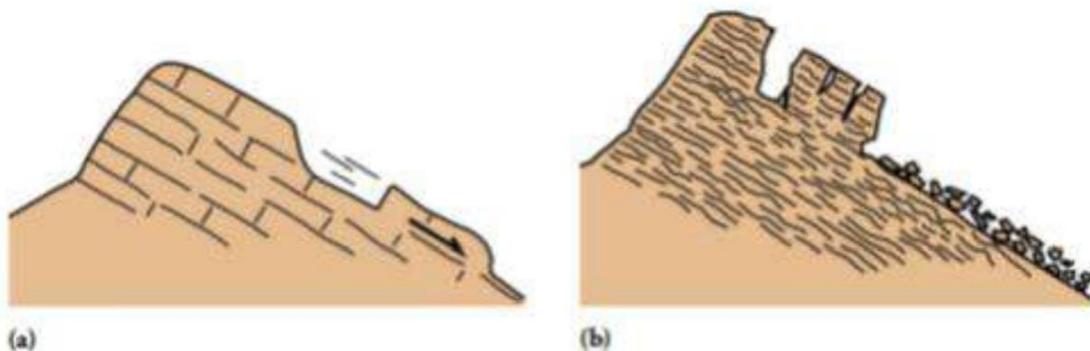


Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### **Movimiento en masa por deslizamiento traslacional:**

La ilustración 4, nos permite visualizar como es el compartimento de los movimientos en masa por deslizamientos traslacional, “el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella” (PMA-GMA, 2007).

**Ilustración 4.** Esquema de un deslizamiento traslacional.



Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### **Movimiento en masa por deslizamiento rotacional:**

La ilustración 5, nos permite visualizar como es el compartimento de los movimientos en masa por deslizamientos rotacional, “en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca” (PMA-GMA, 2007).

**Ilustración 5.** Esquema de un deslizamiento rotacional.

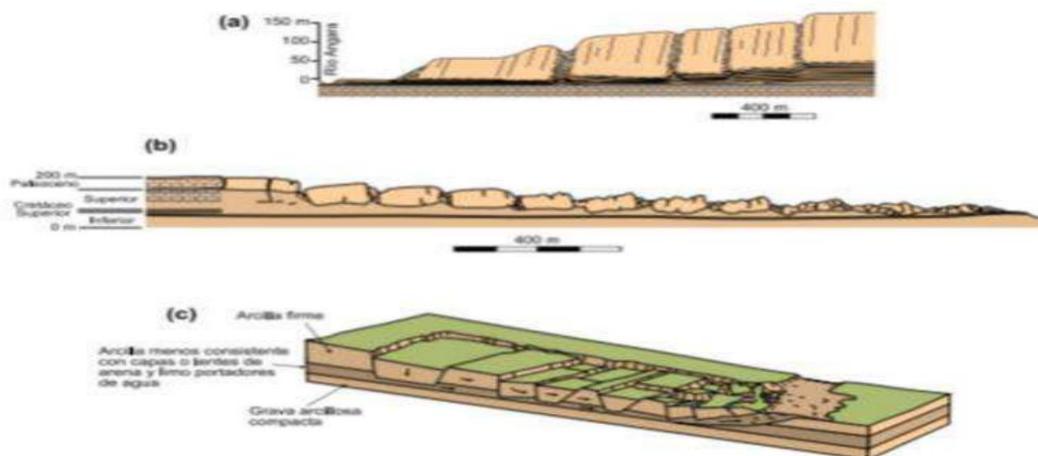


Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### **Movimiento en masa por propagación lateral:**

La ilustración 6, nos permite visualizar como es el compartimento de los movimientos en masa por propagación, “cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. La mayoría de los deslizamientos y los flujos involucran algún grado de expansión. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo” (PMA-GMA, 2007).

### Ilustración 6. Esquema de expansiones laterales.

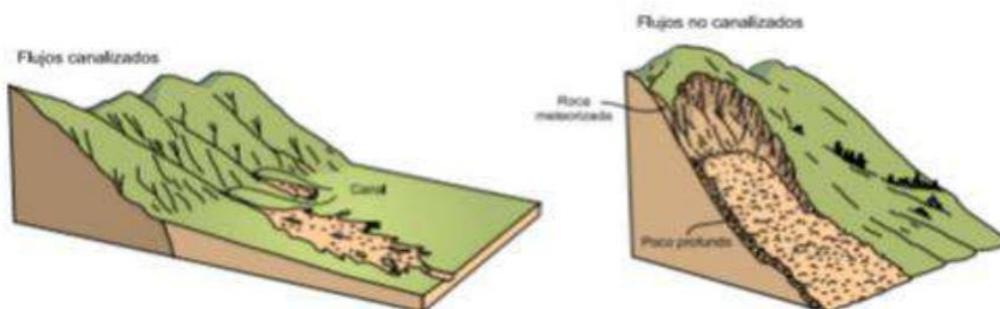


Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### Movimiento en masa por flujo:

La ilustración 7, nos permite visualizar como es el compartimento de los movimientos en masa por flujo, “el cual durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída” (PMA-GMA, 2007).

### Ilustración 7. Esquema de flujos canalizados y no canalizados.



Fuente: (PMA-GMA, 2007)

### Causas de los movimientos en masa

Según las causas del movimiento en masa que plantea el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS, estas se dividen en dos categorías principales: las causas naturales y aquellas causadas por actividad humana o en su defecto la combinación de ambos factores, como lo muestra la siguiente tabla 3.

**Tabla 3.** Causas de los movimientos en masa

CAUSAS NATURALES		CAUSAS HUMANAS
GEOLOGICAS	MORFOLOGICAS	
Materiales débiles, como algunas laderas volcánicas o sedimentos marinos no consolidados.	Levantamiento tectónico o volcánico	Excavación de la ladera o su extremo
Materiales susceptibles	Rebote del hielo	Uso de relleno de tierra inestable para la construcción
Materiales cortados, unidos o fisurados	Salida repentina del agua del derretimiento del hielo	Recargar la ladera o su cresta
Materiales intemperizados	Erosión fluvial del extremo de la ladera	Vacío y llenado de embalses
Discontinuidad adversamente orientada de la masa	Erosión del extremo de la ladera por olas	<b>Deforestación: tala de árboles para madera y (o) sembrar cultivos</b>
Discontinuidad estructural orientada adversamente.	Erosión glacial del extremo de la ladera	Riego de cultivos y jardines
Contrastes en la permeabilidad	Erosión de los márgenes laterales	Minería
Contrastes en la firmeza	Erosión subterránea	Vibración artificial
	Deposición que carga la ladera o su cresta	Fugas de agua de servicios públicos
	<b>Eliminación de la vegetación por incendios o inundaciones.</b>	Desvió de la corriente de un río

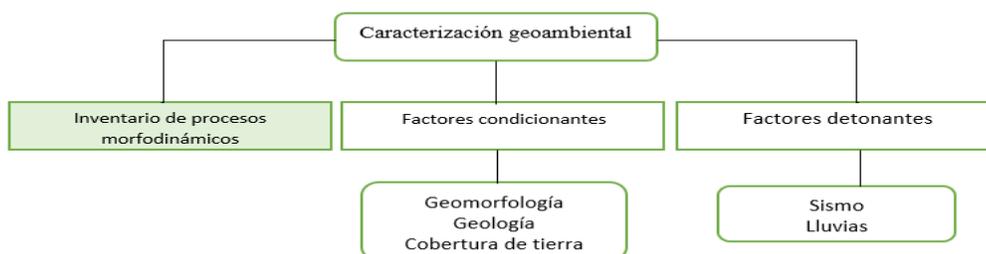
Fuente: (USGS, 2004)

## 8.8 Inventario de procesos morfodinámicos

Este se basa en el análisis de la información recopilada a través de la zonificación de amenaza planteada, teniendo en cuenta las causas (condicionantes y detonantes), distribución espacial y frecuencia de la ocurrencia, estos inventario de procesos son importantes para el conocimiento de la condición de la amenaza del área de estudio y resultados de alta calidad (Sgc, 2017).

De acuerdo a la guía metodológica, para el análisis de amenaza por movimiento en masa, se encuentra dividida en tres etapas las cuales son ;caracterización geoambiental, análisis de susceptibilidad y caracterización de la amenaza, estas permiten realizar el análisis, donde la caracterización geoambiental puede determinar la ocurrencia de un movimiento en masa.

En la figura 4 se muestran las etapas de caracterización geoambiental de acuerdo a la guía metodológica elaborada por el Servicio Geológico Colombiano.



**Figura 4.** Caracterización Geoambiental. Fuente: Elaboración propia con base en metodología para zonificar la susceptibilidad a los movimientos en masa

## 9. MARCO NORMATIVO

Actualmente el sector forestal y ambiente se han convertido en un bien de carácter jurídico, cuya protección y utilización racional es regulada tanto por el derecho como por el elemento cultural de su relación directa con el bienestar social y la calidad de vida individual no solo de las generaciones presentes, también de las generaciones futuras.

**Decreto-Ley 2811 de 1974 Congreso de Colombia.** Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente. Art. 8. literal f- considera factor de contaminación ambiental los cambios nocivos del lecho de las aguas. Literal g, considera como el mismo de contaminación, la extinción o disminución de la biodiversidad biológica. Art.9. Se refiere al uso de elementos ambientales y de recursos naturales renovables. Art.137. Señala que serán objeto de protección y control especial las fuentes, cascadas, lagos y otras corrientes de agua naturales o artificiales, que se encuentren en áreas declaradas dignas de protección. Art 329. precisa que el sistema de parques nacionales tiene como uno de sus componentes las reservas naturales. Las reservas naturales son aquellas en las cuales existen condiciones de diversidad biológica destinada a la conservación. Investigación y estudio de sus riquezas naturales.

**La Ley 1021.** Está enfocada en crear las acciones necesarias para combatir la deforestación, la tala indiscriminada e ilegal de los bosques naturales y el cambio en el uso de los suelos.

**Ley 99 DE 1993.** Por la cual, se crea el 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- y se dictan otras disposiciones.

**Política de Participación Social en la Conservación del 2001 Ministerio del Medio Ambiente y la Unidad Administrativa Especial del Sistema Nacional de Parques Naturales.** Regula las actividades de protección y conservación de las áreas protegidas y que contempla entre otras acciones la conservación in situ de las especies nativas, planes de manejo y ordenamiento territorial de estas áreas,

educación y capacitación ambiental, sistemas de financiación e investigación para estimular la preservación de los Parques Naturales y las áreas de carácter protector.

**CONPES No. 2834 de 1996, “Política de Bosques.”** Brinda respuestas efectivas e integrales que contribuye a proteger y conservar nuestros bosques; a detener y reversar sus procesos de deterioro; a prevenir los impactos negativos generados por las políticas públicas de otros sectores y a asegurar el compromiso de la sociedad civil y del sector privado en la conservación, utilización y aprovechamiento sostenible de los bosques.

**Ley 1523 de 2012.** Por la cual la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

## 10. MARCO CONCEPTUAL

**Amenaza:** “Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales”. (Ley 1523 de 2012)

**Amenaza antrópica:** “Peligro latente generado por la actividad humana en la producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y en la construcción y uso de infraestructura y edificios. Comprenden una gama amplia de peligros como lo son las distintas formas de contaminación de aguas, aire y suelos, los incendios, las explosiones, los derrames de sustancias tóxicas, los accidentes en los sistemas de transporte, la ruptura de presas de retención de agua”. (Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, 2017)

**Amenaza natural:** “Peligro latente asociado con la posible manifestación de un fenómeno físico cuya génesis se encuentra totalmente en los procesos naturales de transformación y modificación de la tierra y el ambiente”. (Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo, 2017)

**Amenaza socio-natural:** “Peligro latente asociado con la probable ocurrencia de fenómenos físicos cuya existencia, intensidad o recurrencia se relaciona con procesos de

degradación o transformación ambiental y/o de intervención humana en los ecosistemas” (Comite Nacional para el Conocimiento del Riesgo, 2017).

**Banda:** “Describe la franja del espectro en la opera el sensor del satélite para captar los niveles de energía emitidos por los objetos y ser traducida digitalmente en cada uno de los archivos que forman una imagen para representar visualmente la información” (Gisan, 2019).

**Cobertura vegetal:** “La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales” (Geo institutos, 2010).

**Movimiento en masa:** “Proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, tierras, detritos o escombros, se desplaza ladera abajo por acción de la gravedad. Son conocidos popularmente como deslizamientos, derrumbes, procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, fallas de taludes y laderas” (Montaña & Orosco, 2109).

**Ortoimagen:** “Imagen producto de la toma de fotografías aéreas o satélites, en la cual han sido corregidos los desplazamientos causados por la inclinación de la cámara o sensor y la curvatura de la superficie del terreno” (Catastro Bogota, 2019).

**Ortorectificación:** “Proceso fotogramétrico que asegura que los elementos de la imagen o pixeles, estén en su respectiva posición geográfica. Es transformar el sistema de proyección

central de la imagen en una proyección ortogonal, buscando además que los desplazamientos causados por el movimiento del sensor y el relieve sean eliminados” (Catastro Bogota, 2019).

**Pansharpening:** “También conocido como refinado pancromático, es la técnica que permite utilizar la banda pancromática de gran resolución de un satélite para combinarla con otras bandas de menor resolución y generar una nueva imagen multibanda a color con una mayor resolución respecto a las bandas iniciales” (Gisan, 2019).

**Pérdida de cobertura vegetal:** “La pérdida de la cubierta vegetal es el primer paso del proceso de deterioro del suelo; si éste no se controla a tiempo, provocará que el paisaje se desertifique” (Stocking y Murnaghan, 2003).

**Procesos morfodinámicos:** “Los procesos morfodinámicos están asociados a una secuencia conformada por la erosión de las rocas, el transporte de los materiales removidos y la sedimentación de dichos detritos” (Univeridad Catolica de chile, s.f.).

## **11. METODOLOGIA**

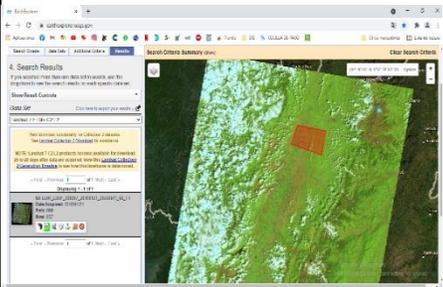
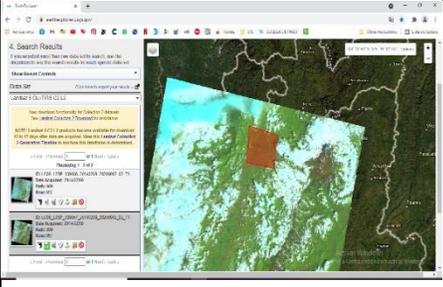
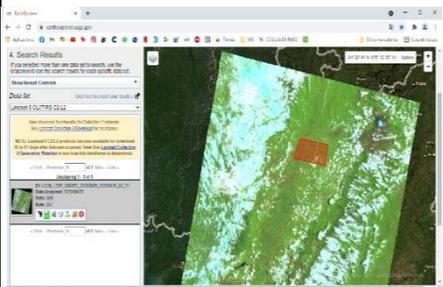
A continuación, se establecen las fases adecuadas para desarrollar paso a paso el proyecto hasta su culminación, mediante un conjunto de procedimientos y actividades en temas de la planificación y gestión de todos los elementos del mismo, con el fin de lograr los objetivos específicos planteados en el proyecto de forma satisfactoria. Esto en un periodo de tiempo claro y determinado en la planificación, la información y datos obtenidos, se presentan en diversas herramientas por medio de imágenes, figuras, gráficos, tablas y mapas para posteriormente culminar en la fase de la elaboración de informe final.

Para la delimitación de las coberturas presentes en el municipio de Cartago, en el departamento del Valle del Cauca, para los años 2010, 2014 y 2020, en primera instancia fue necesario la utilización de imágenes satelitales Landsat 7 y 8, las cuales fueron obtenidas en el portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos – USGS. En este sentido, para el desarrollo de esta investigación fue necesario el cumplimiento de las actividades detalladas a continuación.

### **11.1 Obtención y caracterización de las imágenes satelitales**

En primera instancia, para el desarrollo de esta fase, se procedió con la identificación de la zona de estudio en el portal web USGS, posterior a ello se identificaron cada una de las imágenes satelitales, las cuales, de acuerdo a este estudio, hacen referencia a los años 2010, 2014 y 2020; posteriormente se procedió a la descarga de las imágenes, cuyas características se detallan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Características de las imágenes satelitales

Satélite	Año	Descripción de la imagen satelital	Imagen satelital
Landsat 7 ETM+	2010	<p>Nubosidad: 10%</p> <p>Resolución espacial: 30 metros (60 m - térmica, panorámica de 15 m)</p> <p>Resolución espectral: 8 bandas</p> <p>Rango espectral: 0,45 - 12,5 <math>\mu\text{m}</math></p> <p>Resolución radiométrica: 8 Bits</p> <p>Resolución temporal: 16 días</p> <p>Tamaño de imagen: 183 km X 170 km</p> <p>Franja: 183 km</p> <p>Programable: si</p>	
Landsat 8 OLI - TIRS	2014	<p>Altitud de orbita: 705 Km</p> <p>Ancho pasada: 185 Km</p> <p>Nubosidad: 10%</p> <p>Resolución espacial: 15-30 metros</p> <p>Resolución espectral: 11 bandas</p> <p>Resolución radiométrica: 12 Bits</p> <p>Resolución temporal: 16 días</p>	
Landsat 8 OLI - TIRS	2020	<p>Altitud de orbita: 705 Km</p> <p>Ancho pasada: 185 Km</p> <p>Nubosidad: 10%</p> <p>Resolución espacial: 15-30 metros</p> <p>Resolución espectral: 11 bandas</p> <p>Resolución radiométrica: 12 Bits</p> <p>Resolución temporal: 16 días</p>	

Fuente: Elaboración propia

Para este estudio de investigación es importante detallar las especificaciones de las bandas espectrales de los sensores de Landsat 7 y Landsat 8, los cuales son presentados a continuación en la tabla 5, indicándose el nombre de banda, rango de ancho de banda en micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) y la resolución espacial en metros:

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas de las Bandas espectrales de los satélites Landsat 7

ETM+ y Landsat 8 OLI -TIRS

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

Fuente: Elaboración propia con base a información disponible en página web de la Nasa

## 11.2 Procesamiento de las imágenes satelitales en el software ARCGIS

El área o zona de estudio fue el municipio de Cartago, valle del Cauca, comprendiendo todo su territorio (urbano y rural). En la actualidad existen diversas aplicaciones informáticas con herramientas diseñadas especialmente para delimitar cuencas hídricas, sin embargo, estas delimitaciones automáticas resultan en ocasiones poco precisas, de tal modo que se empleó el software ArcGis Para realizar una delimitación manual del municipio, apoyados en las bases cartográficas a escala 1:25.000 (IGAC 2012).

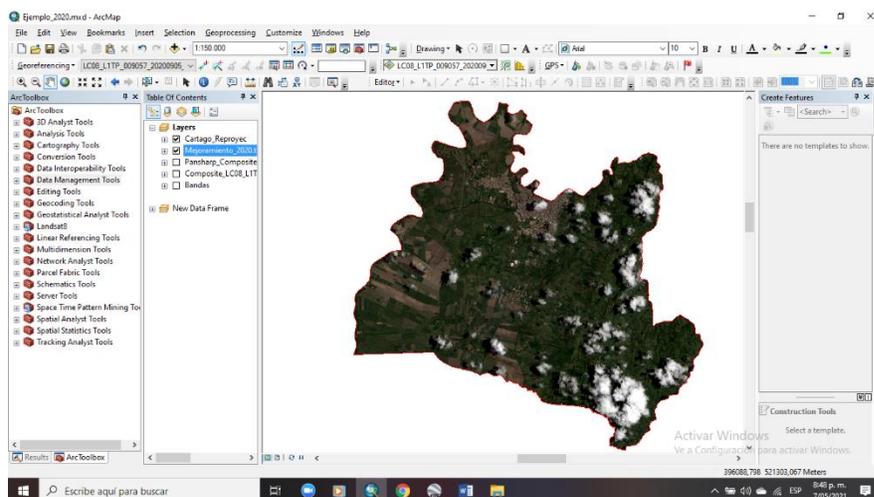
Una vez obtenidas las imágenes satelitales se procedió a ortorectificarlas, proceso que consiste en la transformación de la imagen satelital en una proyección ortogonal para eliminar la inclinación de los elementos por efecto del relieve. En este proceso se utilizó el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, por sus siglas en inglés) de 30 m y un algoritmo del software para el procesamiento específico de las imágenes Landsat. De este proceso se

obtuvieron las ortoimágenes, que se utilizaron para la captura de los elementos planimétricos en este caso las coberturas y uso de la tierra.

Es de destacar que, para el procesamiento de esta información, se tuvo en cuenta la identificación y utilización de puntos de muestreo en imágenes satelitales disponibles de Google Earth para los años 2010, 2014 y 2020; así mismo se utilizó la información cartográfica básica disponible del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC a escala 1:25.000, en el cual se obtuvo el límite municipal de Cartago, definida como el área de interés.

En este punto se realizó la extracción de la información, mediante la herramienta CLIP, disponible en la caja de herramientas (ArcToolbox) en el software ArcGis, utilizando el límite de la zona de estudio en formato tipo shapefile y las imágenes satelitales a tratar tipo ráster, haciendo el debido recorte de estas imágenes con el límite municipal, tal y como se observa en la figura 5. Posterior a ello se procedió al mejoramiento de la resolución de las imágenes satelitales a través de la herramienta pansharpening, utilizando como referencia una banda pancromática.

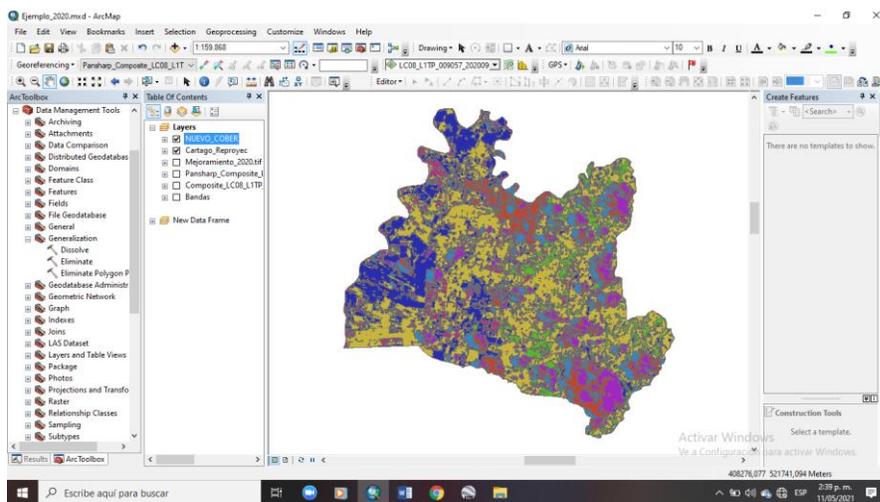
**Figura 5.** Procesamiento de las imágenes satelitales



Fuente: Elaboración propia

Luego, se realizó una clasificación supervisada de las imágenes satelitales como se observa en la figura 6, mediante la utilización de firmas espectrales obtenidas de las muestras identificadas para la clasificación de las imágenes, es decir, a través de la determinación de puntos ubicados sobre la imagen, a los cuales se les asignó un valor numérico para cada clase identificada. Dicho proceso fue realizado gracias a la utilización de la herramienta *Create Signatures* en el software ArcGis. El resultado de este proceso se presenta a continuación en la captura de pantalla donde se puede apreciar las clases extraídas, las cuales estarán representadas en un archivo formato ráster, al cual se le realizó una conversión a un archivo formato shapefile.

**Figura 6.** Clasificación supervisada



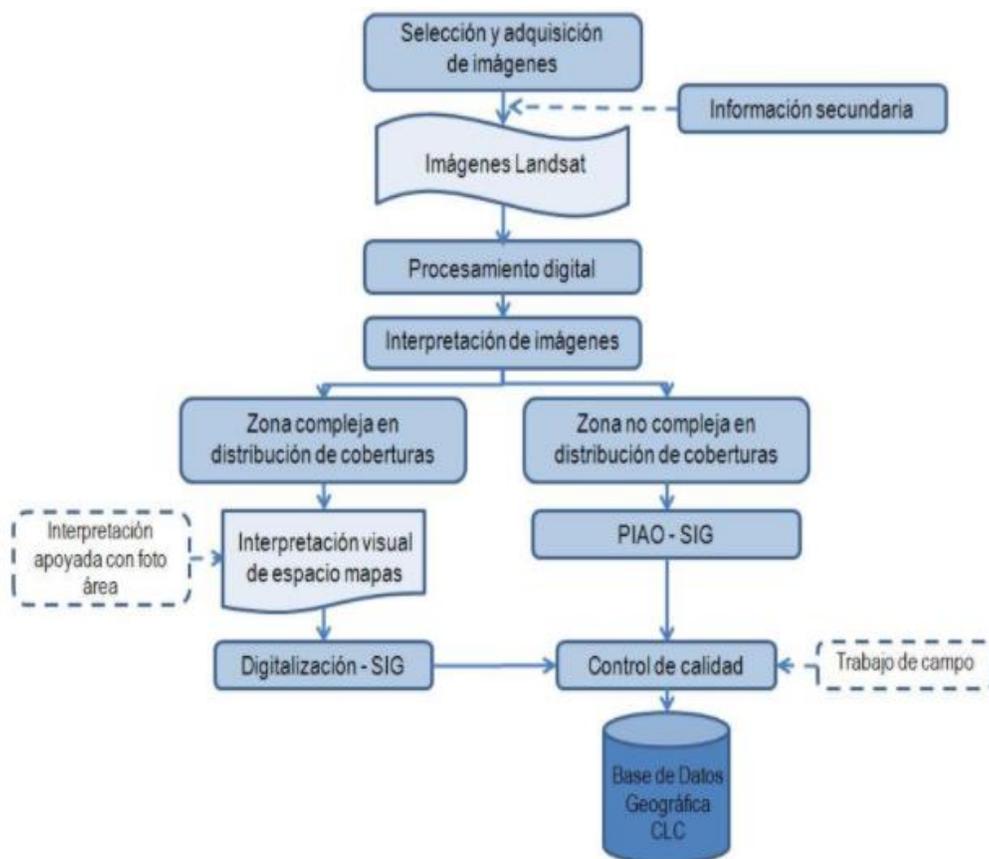
Fuente: Elaboración propia

### 11.3 Implementación de la metodología Corine Land Cover

Para la identificación y determinación de las coberturas en el municipio de Cartago, fue necesario la utilización de la metodología Corine Land Cover, la cual permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, obtenidas a

partir de la utilización de estas imágenes satélites; para ello fue necesario seguir su esquema metodológico (figura 7), con el fin de poder interpretar las coberturas.

**Figura 7.** Modelo general de la metodología Corine Land Cover (CLC)



Fuente: Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia, escala 1:100.000, IDEAM

para ello fue necesario la utilización de la leyenda nacional para la elaboración de los mapas de coberturas en Colombia a escala 1:100.000, permitiendo esto según la resolución de las imágenes, llegar a una escala de 1:25.000, niveles 1,2,3, según la metodología Corine Land Cover, en la cual se definen las potenciales unidades de coberturas presentes.

Cabe resaltar que, para un mejor análisis e interpretación visual de la información, se realizaron varias composiciones de las bandas como se muestra en la tabla 6 obtenidas, a partir del

Layer Stack para observar e identificar la respectiva cobertura, las cuales están soportadas en la clasificación de las coberturas de la Corine Land Cover.

**Tabla 6.** Combinación de bandas para la identificación de coberturas en imágenes

Landsat

Imágenes visualizadas	Composición de bandas
Color natural	4 3 2
Agricultura	6 5 2
Penetración atmosférica	7 6 5
Falso color - urbano	7 6 4
Vegetación saludable	5 6 2
Tierra y gua	5 6 4
Color infrarrojo (vegetación)	5 4 3

Fuentes: Elaboración propia

La interpretación de los datos obtenidos se realizó mediante la identificación visual de las coberturas naturales presentes en el municipio de Cartago, siguiendo la metodología propuesta por IDEAM; estas coberturas constan de una estructura de datos de las capas geográficas, presente en el diccionario de datos, en el cual se identifican el tipo de datos, el tamaño, descripción, el dominio, etc., que irán de acuerdo al e acuerdo con la clasificación de las coberturas de la Corine Land Cover; a modo de ejemplo la Tabla 7 presenta la estructura de este metadato.

**Tabla 7.** Metadato Cobertura de la Tierra – Capa Geográfica.

<b>Descripción Tema</b>	<b>Cobertura de la Tierra:</b> Corresponde al mapa de cobertura de la tierra, de acuerdo con la clasificación metodológica Corine Land Cover.				
<b>Feature Class:</b>	Cobertura de la Tierra				
<b>Geometría:</b>	Polígono				
CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN	DOMINIO	OBLIGACIÓN/CONDICIÓN
EXPEDIENTE	String	20	Número de expediente asignado por la ANLA para el licenciamiento.	N/A	Condicional
OPERADOR	String	100	Empresa solicitante o titular de la licencia.	N/A	Obligatorio
PROYECTO	String	200	Nombre del proyecto objeto de licenciamiento o licenciado.	N/A	Obligatorio
ID_COBERT	Integer	4	Identificador único del polígono.	N/A	Obligatorio
N1_COBERT	Double	8	Categoría principal de la cobertura.	<a href="#">Dom_CateCober</a>	Obligatorio
N2_COBERT	Double	8	Subcategoría o segundo nivel de la cobertura.	<a href="#">Dom_SubcatCober</a>	Obligatorio
N3_COBERT	Double	8	Clase o tercer nivel de la cobertura.	<a href="#">Dom_Clas_Cober</a>	Obligatorio
N4_COBERT	Double	8	Subclase o cuarto nivel de la cobertura.	<a href="#">Dom_Subclas_Cober</a>	Condicional
N5_COBERT	Double	8	Cobertura del quinto nivel.	<a href="#">Dom_Nivel5_Cober</a>	Condicional
N6_COBERT	Double	8	Cobertura del sexto nivel.	<a href="#">Dom_Nivel6_Cober</a>	Condicional
NOMENCLAT	Integer	4	Nomenclatura para la cobertura de la tierra correspondiente al nivel de cobertura más detallado al que se llegó en la caracterización (código corine land cover).	N/A	Obligatorio
OBSERV	String	255	Incluye las observaciones que se consideren pertinentes para el elemento.	N/A	Opcional
AREA en _ha	Double	8	Área en hectáreas (ha) de cada uno de los polígonos.	N/A	Obligatorio

Fuente: Diccionario de datos – Corine Land Cover ANLA, 2013

#### **11.4 Análisis visual de imágenes e interpretación de la información.**

El análisis visual de imágenes, nos proporciona criterios a emplear, con el fin de identificar una cobertura de tal modo que permite discriminar mejor dos elementos que tengan la misma respuesta espectral, para interpretar los tonos que ofrece la imagen se debe tener presente el comportamiento espectral de las distintas cubiertas de interés.

Esta etapa nos brinda extraer conclusiones en función del problema, las variables, la formulación de las hipótesis, permitiendo la descomposición de la información al mismo tiempo se debe tener un plan de análisis de los datos e información, para definir que tratamiento se le debe dar a esta (cuantitativa, cualitativa) y finalmente se procede a la elaboración de un informe final de la investigación. (Figueroa, 2016).

#### **Información secundaria de entidades públicas y privadas**

En la actualidad existen entidades del orden nacional, departamental, municipal y organizaciones que son parte del comité nacional para el manejo de desastres, dentro de sus labores esta, la recopilación de información para ser utilizada en la elaboración de reportes, informes y mapas sobre las ocurrencias de movimiento en masa en diferentes áreas del territorio colombiano, las cuáles son elaboradas por empresas consultoras, universidades e instituciones privadas durante la ejecución de sus proyectos, también se recomienda que este análisis sea validado y revisado por profesionales expertos en movimiento en masa, en la actualidad se pueden encontrar información en base de datos de sitios web de libre acceso.

En la figura 8 se pueden observar las entidades públicas y privadas que recopilan información secundaria de movimientos en masa, de tal forma que esta se emplea en la presente investigación para poder establecer la relación entre los movimientos en masa y la pérdida de cobertura vegetal.

**Figura 8.** Información secundaria entidades públicas y privadas

TIPO DE INFORMACION SECUNDARIA	ENTIDADES
Geología y Geomorfología Regional y Local	SGC, CAR's, IDEAM, IGAC, Universidades Públicas y Privadas, Empresas Consultoras
Bases de datos e Inventarios de Movimientos en Masa	SIMMA (Base de datos del SGC), DESINVENTAR (Base de datos), INVIAS, CAR's, Planeación Municipal y Departamental, UNGRD, Empresas consultoras
Informes y Mapas de Movimientos en Masa	SGC, CAR's, Universidades Públicas y Privadas, Planeación Municipal y Departamental, Empresas Consultoras
Reportes de emergencias por Movimientos en Masa	UNGRD, SGC, INVIAS, Defensa Civil, Cuerpo de Bomberos, Ejército Nacional, Policía Nacional, CMGRD

Fuente: Elaboración propia con base en metodología para zonificar la susceptibilidad a los movimientos en masa

### 11.5 Cuantificación de la información y elaboración de cuadros estadísticos.

Se emplea la cuantificación para luego ser plasmada en cuadros estadísticos para poder tener mejor apreciación de la información a presentar y organizar los datos para clasificarlos adecuadamente para comparar e interpretar las características de dos o más variables. La presentación de un cuadro tiene mucha importancia para el usuario, por lo tanto, un buen diseño transmite la calidad de los procedimientos previos realizados en la recopilación, elaboración y análisis de los datos. En la práctica, es necesario tener en cuenta normas que son generales, pero permiten presentarlos con criterio uniforme porque un buen estilo de presentación de tabulación facilita la interpretación del contenido y se vuelve más atractivo.

## 12. RESULTADOS E INTERPRETACION

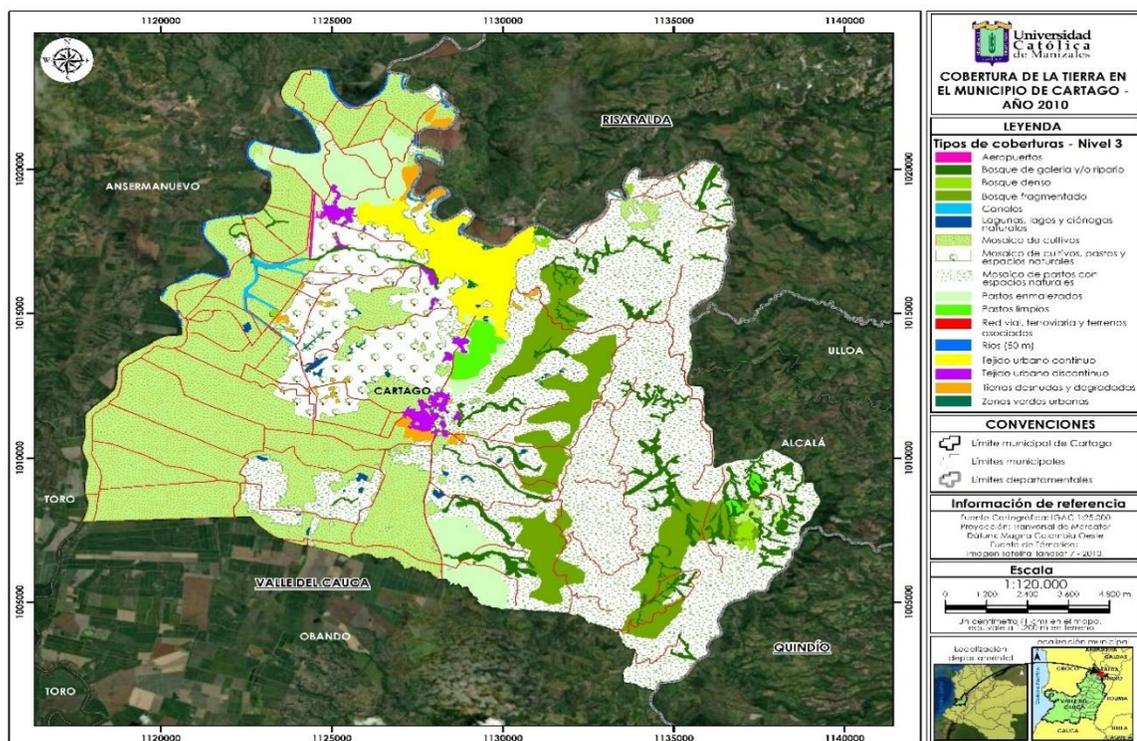
Para el desarrollo del presente estudio se procesaron 3 imágenes obtenidas del portal web del servicio geológico de los Estados Unidos – USGS utilizando imágenes satelitales Landsat 7 y 8 para luego aplicar un sistema de información geográfico para su procesamiento como el software ArcGIS.

Los resultados obtenidos del análisis multitemporal de las imágenes del área de estudio, corresponden al año 2010 (ver figura 8), año 2014 (ver figura 9) y 2020 (ver figura 10) permiten visualizar los tipos de cobertura, la variación en el tiempo de las coberturas y cuantificar la pérdida o ganancia de estas, teniendo en cuenta que se aplicó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.

### 12.1 Análisis multitemporal 2010

De acuerdo con estos resultados reflejados en la figura 9 y tabla 8, se observa que la cobertura principal para 2010 en la zona de estudio eran los mosaicos de pastos con espacios naturales con más de 8928,454 hectáreas, en segundo lugar se encontraban los mosaicos de cultivos con 7532,635 hectáreas, pero también se evidencia en menor proporción coberturas como: bosques densos, bosques de galería y/o riparios, además se aprecia una influencia fuerte del ser humano generando procesos de fragmentación sobre bosques naturales generando nuevas áreas que principalmente se destinan a pastura y espacios naturales.

**Figura 9.** Mapa de cobertura de la tierra del área de estudio 2010



Fuentes: Elaboración propia

**Tabla 8.** Distribución porcentual de los tipos de cobertura área de estudio 2010

Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover 2010		
Coberturas	Área (ha)	Porcentaje %
Aeropuertos	20,296	0,08%
Canales	43,855	0,18%
Bosque denso	56,355	0,23%
Lagunas, lagos ciénagas naturales	82,095	0,33%
Tejido urbano discontinuo	118,248	0,48%
Ríos (50 m)	131,972	0,53%
Tierras desnudas o degradadas	183,315	0,74%
Pastos limpios	227,279	0,92%
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,451	1,20%
Bosque de galería y/o riparios	1046,156	4,22%
Tejido urbano continuo	1075,290	4,34%
Pastos enmalezados	1225,568	4,94%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1905,111	7,68%
Bosque fragmentados	1929,526	7,78%

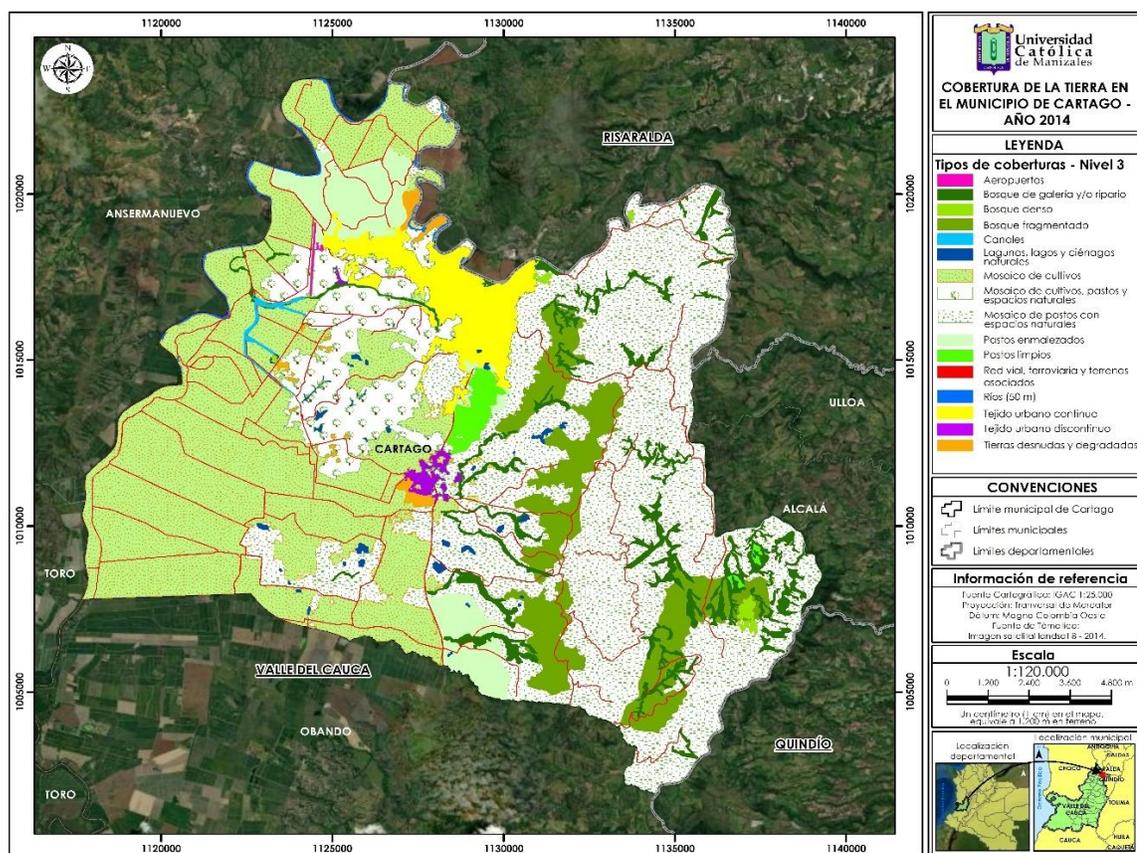
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	7532,635	30,37%
Mosaico de pastos y espacios naturales	8928,454	36,00%
<b>Total zona de estudio</b>	<b>24803,607</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 12.2 Análisis multitemporal 2014

Los resultados reflejados en la figura 10 y tabla 9, se observa que la cobertura principal para 2014 en la zona de estudio eran los mosaicos de pastos con espacios naturales con más de 9120,636 hectáreas, en segundo lugar se encontraban los mosaicos de cultivos con 7619,848 hectáreas, pero también se evidencia en menor proporción coberturas como: bosques densos, bosques de galería y/o riparios, pastos enmalezados y además se aprecia un aumento de los tejidos urbanos continuos generado incremento sobre tierras desnudas o degradadas.

**Figura 10.** Mapa de cobertura de la cobertura del área de estudio 2014



Fuentes: Elaboración propia

**Tabla 9.** Distribución porcentual de los tipos de cobertura área de estudio 2014

Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover 2014		
Coberturas	Área (ha)	Porcentaje %
Aeropuertos	20,296	0,08%
Canales	43,855	0,18%
Bosque denso	51,365	0,21%
Lagunas, lagos ciénagas naturales	71,430	0,29%
Tejido urbano discontinuo	112,097	0,45%
Ríos (50 m)	132,571	0,53%
Tierras desnudas o degradadas	145,778	0,59%
Pastos limpios	225,035	0,91%
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,461	1,20%
Bosque de galería y/o riparios	1043,694	4,21%
Tejido urbano continuo	1085,230	4,38%
Pastos enmalezados	1111,282	4,48%
Mosaico de cultivos, pastos con espacios naturales	1852,663	7,47%

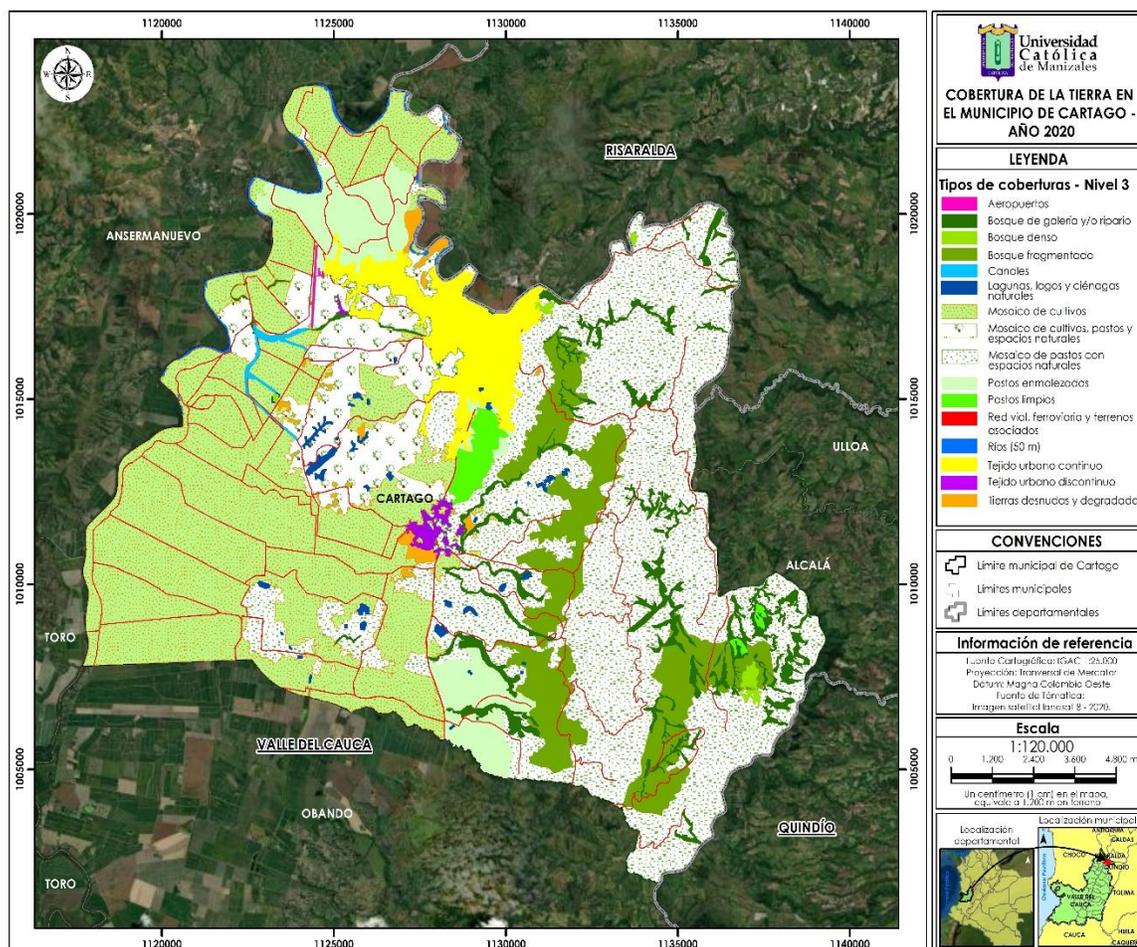
Bosque fragmentados	1870,365	7,54%
Mosaico de cultivos	7619,848	30,72%
Mosaico de pastos con espacios naturales	9120,636	36,77%
<b>Total zona de estudio</b>	<b>24803,607</b>	<b>100%</b>

Fuentes: Elaboración propia

### 12.3 Análisis multitemporal 2020

De acuerdo con estos resultados reflejados en la figura 11 y tabla 10, se aprecia que la cobertura principal para 2020 en la zona de estudio eran los mosaicos de pastos con espacios naturales con más de 8928,12419 hectáreas equivalentes al (36 %) del territorio, en segundo lugar se encontraban los mosaicos de cultivos con 7532,23455 hectáreas, pero también se evidencia en menor proporción coberturas como: bosques densos, lagunas, lagos, ciénagas naturales, además se aprecia un aumento en el tejido urbano continuo influencia fuerte del ser humano generando procesos de fragmentación sobre bosques naturales y aumento tierras denudas o degradadas.

**Figura 11.** Mapa de cobertura de la tierra del área de estudio 2020



Fuentes: Elaboración propia

**Tabla 10.** Distribución porcentual de tipos de cobertura área de estudio 2020

<b>Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover 2020</b>		
Coberturas	Área (ha)	Porcentaje %
Aeropuertos	20,296	0,08%
Canales	43,855	0,18%
Bosque denso	51,255	0,21%
Lagunas, lagos ciénagas naturales	73,075	0,29%
Tejido urbano discontinuo	118,278	0,48%
Ríos (50 m)	131,172	0,53%
Tierras desnudas o degradadas	184,415	0,74%
Pastos limpios	226,759	0,91%
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,461	1,20%

Bosque de galería y/o riparios	1046,70607	4,22%
Tejido urbano continuo	1096,22015	4,42%
Pastos enmalezados	1214,51773	4,90%
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1910,11135	7,70%
Bosque fragmentados	1929,12627	7,78%
Mosaico de cultivos	7532,23455	30,37%
Mosaico de pastos y espacios naturales	8928,12419	36%
<b>Total zona de estudio</b>	<b>24803,607</b>	<b>100%</b>

Fuentes: Elaboración propia

#### 12.4 Análisis de pérdida de cobertura años 2010-2020

De acuerdo a la información presentada en la tabla 11 del análisis multitemporal de las coberturas de la tierra se comparan los años 2010 y 2020, para realizar el análisis de una década, se puede afirmar que las coberturas que presentaron pérdidas, tomando como referencia la variable área ex en hectáreas ya se por perdida o aumento.

Teniendo en cuenta lo anterior el mosaico de pastos y espacios naturales el cual perdió un 0,0013% de su área equivalente a 330 hectáreas aproximadamente, también los pastos enmalezados que perdieron unas 11,050 hectáreas de su área y el bosque denso con una pérdida del 0,0206% equivalente a las 5,100 hectáreas. A si mismo se evidencia el aumento de áreas de cobertura como los boques de galería y/o riparios con las 550 hectáreas, además aumento el mosaico de cultivos, pastos y espacios natural con más 5000 hectáreas y aumento las tierras desnudas o degradadas con 1,100 hectáreas, esta última no tan positiva desde el punto de vista ecosistémico, repercutiendo en zonas de amenaza al igual que la perdida de bosques y espacio naturales, los cuales son remplazados por cultivos, pastos y la expansión del tejido continuo o discontinuo.

**Tabla 11.** Análisis multitemporal 2010-2020

Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover									
Coberturas	Año 2010		Año 2014		Año 2020		Diferencias (2010-2020)		
	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Descripción
Aeropuertos	20,296	0,08%	20,296	0,08%	20,296	0,08%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Canales	43,855	0,18%	43,855	0,18%	43,855	0,18%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Bosque denso	56,355	0,23%	51,365	0,21%	51,255	0,21%	5,100	-0,0206%	Perdidas
Lagunas, lagos ciénagas naturales	82,095	0,33%	71,430	0,29%	73,075	0,29%	9,020	-0,0364%	Perdidas
Tejido urbano discontinuo	118,248	0,48%	112,097	0,45%	118,278	0,48%	-0,030	0,0001%	Ganancias
Ríos (50 m)	131,972	0,53%	132,571	0,53%	131,172	0,53%	0,800	-0,0032%	Perdidas
Tierras desnudas o degradadas	183,315	0,74%	145,778	0,59%	184,415	0,74%	-1,100	0,0044%	Ganancias
Pastos limpios	227,279	0,92%	225,035	0,91%	226,759	0,91%	0,520	-0,0021%	Perdidas
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,451	1,20%	297,461	1,20%	297,461	1,20%	-0,010	0,0000%	Ganancias
Bosque de galería y/o riparios	1046,156	4,22%	1043,694	4,21%	1046,70607	4,22%	-0,550	0,0022%	Ganancias
Tejido urbano continuo	1075,290	4,34%	1085,230	4,38%	1096,22015	4,42%	-20,930	0,0844%	Ganancias
Pastos enmalezados	1225,568	4,94%	1111,282	4,48%	1214,51773	4,90%	11,050	-0,0445%	Perdidas
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1905,111	7,68%	1852,663	7,47%	1910,11135	7,70%	-5,000	0,0202%	Ganancias
Bosque fragmentados	1929,526	7,78%	1870,365	7,54%	1929,12627	7,78%	0,400	-0,0016%	Perdidas
Mosaico de cultivos	7532,635	30,37%	7619,848	30,72%	7532,23455	30,37%	0,400	-0,0016%	Perdidas
Mosaico de pastos y espacios naturales	8928,454	36,00%	9120,636	36,77%	8928,12419	36%	0,330	-0,0013%	Perdidas
<b>Total zona de estudio</b>	<b>24803,607</b>	<b>100%</b>	<b>24803,6073</b>	<b>100%</b>	<b>24803,6069</b>	<b>100%</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0000%</b>	

Fuente: Elaboración propia

## 12.5 Análisis de pérdida de cobertura años 2010-2014

En la tabla 12 se pueden identificar las pérdidas de coberturas en un lapso de tiempo de cuatro años, 2010 al año 2014, para este análisis multitemporal se tiene en cuenta la variable área para saber de cuanto es la variación porcentual en las fechas mencionadas, teniendo en cuenta que para el año 2010 los bosques densos tenían un área 56,354 hectáreas y comparado cuatro años más tarde (2014) solo se contaba con 51,365 hectáreas concluyendo que se perdió cobertura de bosque denso en el municipio con una diferencia 4,990 hectáreas, también el análisis permite evidenciar una gran pérdida pastos enmalezados ya que para el año 2010 se tenían 1225,568 hectáreas y al 2014 ya se habían perdido 114,286 hectáreas, además se concluye el aumento en coberturas como mosaico de pastos y espacios naturales de más 192,181 hectáreas y con más de 87,214 hectáreas de mosaico de cultivos, se puede concluir que las actividades humanas priman más, que la conservación de las coberturas vegetales, soportado en el aumento de la cobertura tejido urbano continuo de 9,940 hectáreas y también se puede analizar que durante los años 2010 lo tejidos urbano discontinuo, tuvieron una reducción de 37, 537 hectáreas.

**Tabla 12.** Análisis multitemporal 2010-2014

Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover							
Coberturas	Año 2010		Año 2014		Diferencias (2010-2014)		
	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Descripción
Aeropuertos	20,296	0,08%	20,296	0,08%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Canales	43,855	0,18%	43,855	0,18%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Bosque denso	56,355	0,23%	51,365	0,21%	-4,990	-0,02%	Perdidas
Lagunas, lagos ciénagas naturales	82,095	0,33%	71,430	0,29%	-10,664	-0,04%	Perdidas
Tejido urbano discontinuo	118,248	0,48%	112,097	0,45%	-6,151	-0,02%	Perdidas
Ríos (50 m)	131,972	0,53%	132,571	0,53%	0,599	0,00%	Ganancias
Tierras desnudas o degradadas	183,315	0,74%	145,778	0,59%	-37,537	-0,15%	Perdidas
Pastos limpios	227,279	0,92%	225,035	0,91%	-2,244	-0,01%	Perdidas
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,451	1,20%	297,461	1,20%	0,010	0,00%	Ganancias
Bosque de galería y/o riparios	1046,156	4,22%	1043,694	4,21%	-2,462	-0,01%	Perdidas
Tejido urbano continuo	1075,290	4,34%	1085,230	4,38%	9,940	0,04%	Ganancias
Pastos enmalezados	1225,568	4,94%	1111,282	4,48%	-114,286	-0,46%	Perdidas
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1905,111	7,68%	1852,663	7,47%	-52,448	-0,21%	Perdidas
Bosque fragmentados	1929,526	7,78%	1870,365	7,54%	-59,161	-0,24%	Perdidas
Mosaico de cultivos	7532,635	30,37%	7619,848	30,72%	87,214	0,35%	Ganancias
Mosaico de pastos y espacios naturales	8928,454	36,00%	9120,636	36,77%	192,181	0,77%	Ganancias
<b>Total zona de estudio</b>	<b>24803,607</b>	<b>100%</b>	<b>24803,6073</b>	<b>100%</b>	<b>0,0</b>	<b>0%</b>	

Fuente: Elaboración propia

## 12.6 Análisis de pérdida de cobertura años 2014-2020

En Tabla 13 se evidencia que entre los años 2014 y el año 2020 a nivel general se aprecia una recuperación de las coberturas. La pérdida de cobertura por mosaico de pastos y espacio naturales fue notoria ya que en el año 2014 se tenían 9120,635 hectáreas y ya para el año 2020 se tenían 8928,124 hectáreas observando una disminución equivalente a 192, 512 hectáreas, además también sufrió pérdida la cobertura de bosque denso con 110 hectáreas, la cobertura de mosaico de pastos y espacio naturales perdió 192,511 hectáreas, al igual los mosaicos de cultivos con 87,614 y para cobertura de ríos se perdió 1,399 hectáreas, pero aumento la cobertura tejidos continuos y discontinuo en 17,171 hectáreas, así mismo se observa un aumentado en la cobertura de tierras desnuda y degradadas 38,637 hectáreas

**Tabla 13.** Análisis multitemporal 2014-2020

Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover							
Coberturas	Año 2014		Año 2020		Diferencias (2014-2020)		
	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Descripción
Aeropuertos	20,296	0,08%	20,296	0,08%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Canales	43,855	0,18%	43,855	0,18%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Bosque denso	51,365	0,21%	51,255	0,21%	-0,110	-0,0004%	Perdidas
Lagunas, lagos ciénagas naturales	71,430	0,29%	73,075	0,29%	1,644	0,0066%	Ganancias
Tejido urbano discontinuo	112,097	0,45%	118,278	0,48%	6,181	0,0249%	Ganancias
Ríos (50 m)	132,571	0,53%	131,172	0,53%	-1,399	-0,0056%	Perdidas
Tierras desnudas o degradadas	145,778	0,59%	184,415	0,74%	38,637	0,1558%	Ganancias
Pastos limpios	225,035	0,91%	226,759	0,91%	1,724	0,0070%	Ganancias
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,461	1,20%	297,461	1,20%	0,000	0,0000%	Sin cambio
Bosque de galería y/o riparios	1043,694	4,21%	1046,70607	4,22%	3,012	0,0121%	Ganancias
Tejido urbano continuo	1085,230	4,38%	1096,22015	4,42%	10,990	0,0443%	Ganancias
Pastos enmalezados	1111,282	4,48%	1214,51773	4,90%	103,236	0,4162%	Ganancias
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1852,663	7,47%	1910,11135	7,70%	57,448	0,2316%	Ganancias
Bosque fragmentados	1870,365	7,54%	1929,12627	7,78%	58,761	0,2369%	Ganancias
Mosaico de cultivos	7619,848	30,72%	7532,23455	30,37%	-87,614	-0,3532%	Perdidas
Mosaico de pastos y espacios naturales	9120,636	36,77%	8928,12419	36%	-192,511	-0,7761%	Perdidas
<b>Total zona de estudio</b>	<b>24803,6073</b>	<b>100%</b>	<b>24803,6069</b>	<b>100%</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00%</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 12.7 Multitemporal Coberturas de la tierra años 2010, 2014, 2020

La siguiente tabla 14 nos muestra las diferentes coberturas presentes en Cartago.

Enfocándonos en las pérdidas se puede observar que entre los años 2010 a 2014 se pierden más 285 mil hectáreas entre todas coberturas para el municipio, dentro de este periodo de tiempo se resalta la pérdida de tierras desnudas y degradadas, teniendo en cuenta que son áreas abiertas, sin o con poca vegetación entonces es positivo ya que se reducen ese tipo de coberturas.

Para los años 2014 a 2020 vemos que no son muchas las pérdidas en diferentes coberturas pero entre las pocas se pierden 280 mil hectáreas especialmente en el mosaico de pastos y espacio naturales y para el análisis final entre los años 2010 a 2020 tenemos más 27 mil hectáreas pérdidas de cobertura, resaltando grandes pérdidas en la cobertura de pastos enmalezados y bosque denso siendo de gran importancia para la protección del suelo, regulación climática y a su vez una causante del desencadenamiento de movimientos en masa de tipo

morfológica o humanas, teniendo en cuenta las causas que plantea el servicio geológico de los estados unidos.

**Tabla 14 Multitemporal 2010, 2014, 2020**

Municipio de Cartago - Valle del Cauca: Cobertura de la tierra Corine Land Cover															
Coberturas	Año 2010		Año 2014		Diferencias (2010-2014)			Año 2020		Diferencias (2014-2020)			Diferencias (2010-2020)		
	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Descripción	Área (ha)	Porcentaje %	Área (ha)	Porcentaje %	Descripción	Área (ha)	Porcentaje %	Descripción
Aeropuertos	20,296	0,08%	20,296	0,08%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	20,296	0,08%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Canales	43,855	0,16%	43,855	0,16%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	43,855	0,16%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio
Bosque denso	56,355	0,23%	51,365	0,21%	4,99	0,02%	Perdidas	51,255	0,21%	0,110	0,0004%	Perdidas	5,100	0,0206%	Perdidas
Lagunas, lagos ciénagas naturales	82,095	0,33%	71,430	0,29%	10,664	0,04%	Perdidas	73,075	0,29%	1,644	0,01%	Ganancias	9,020	0,04%	Perdidas
Tejido urbano discontinuo	118,248	0,48%	112,097	0,45%	6,151	0,02%	Perdidas	118,278	0,48%	6,181	0,02%	Ganancias	0,030	0,0001%	Ganancias
Rios (50 m)	131,372	0,53%	132,571	0,53%	0,599	0,002%	Ganancias	131,172	0,53%	1,399	0,006%	Perdidas	0,800	0,003%	Perdidas
Tierras desnudas o degradadas	183,315	0,74%	145,778	0,59%	37,537	0,15%	Perdidas	184,415	0,74%	38,637	0,16%	Ganancias	1,100	0,004%	Ganancias
Pastos limpios	227,279	0,92%	225,035	0,91%	2,244	0,01%	Perdidas	226,759	0,91%	1,724	0,01%	Ganancias	0,520	0,002%	Perdidas
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	297,451	1,20%	297,461	1,20%	0,010	0,00004%	Ganancias	297,461	1,20%	Sin cambio	Sin cambio	Sin cambio	0,010	0,00004%	Ganancias
Bosque de galería y/o riparios	1048,156	4,22%	1043,694	4,21%	2,462	0,01%	Perdidas	1048,70607	4,22%	3,012	0,01%	Ganancias	0,550	0,002%	Ganancias
Tejido urbano continuo	1075,290	4,34%	1085,230	4,38%	9,940	0,04%	Ganancias	1096,22015	4,42%	10,990	0,04%	Ganancias	20,930	0,08%	Ganancias
Pastos enmalezados	1225,568	4,94%	1111,282	4,48%	114,286	0,46%	Perdidas	1214,51773	4,90%	103,236	0,42%	Ganancias	11,050	0,04%	Perdidas
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1905,111	7,68%	1852,663	7,47%	52,448	0,21%	Perdidas	1910,11135	7,70%	57,448	0,23%	Ganancias	5,000	0,02%	Ganancias
Bosque fragmentados	1929,526	7,78%	1870,365	7,54%	59,161	0,24%	Perdidas	1929,12627	7,78%	58,761	0,24%	Ganancias	0,400	0,0016%	Perdidas
Mosaico de cultivos	7532,635	30,37%	7619,848	30,72%	87,214	0,35%	Ganancias	7532,23455	30,37%	87,614	0,35%	Perdidas	0,400	0,0016%	Perdidas
Mosaico de pastos y espacios naturales	8928,454	36,00%	9120,636	36,77%	192,181	0,77%	Ganancias	8928,12419	36%	192,511	0,78%	Perdidas	0,330	0,0013%	Perdidas
<b>Total zona de estudio</b>	<b>#####</b>	<b>100%</b>	<b>24804</b>	<b>100%</b>	<b>579,9</b>	<b>2%</b>		<b>24803,607</b>	<b>100%</b>	<b>563,27</b>	<b>2,27%</b>		<b>55,24</b>	<b>0,2227%</b>	

## 12.8 Inventario de procesos Morfodinámicos para el Municipio de Cartago Valle del Cauca

Para elaborar el inventario de procesos morfodinámicos, fue necesario indagar información secundaria de algunas bases de datos, como, la del sistema geológico colombiano, oficina municipal de gestión del riesgo de Cartago y página “desinventar”. Esta información nos permite comprender la ocurrencia de los movimientos en masa y sus características más importantes.

En la tabla 15 y la figura 12, se puede observar un resumen del inventario de movimientos en masa, desde el año 1999 hasta el año 2020, en el cual se muestran, la totalidad de eventos ocurridos en el municipio, encontrándose que para los años en los que se detectó más movimientos en masa de acuerdo con su tipología, (deslizamiento, caídas o flujo) fueron los siguientes:

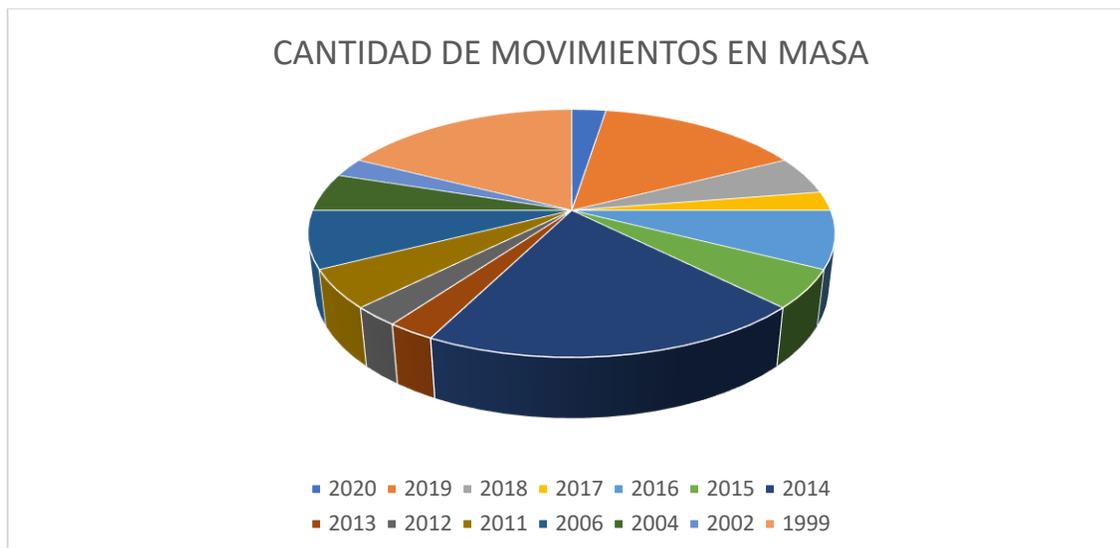
Para el año 1999 se presentaron 7 eventos por deslizamiento en masa; en el 2014, 8 eventos y en el 2019, 7 eventos.

**Tabla 15.** Inventario de movimientos en masa Municipio de Cartago Valle del Cauca

AÑO	CANTIDAD	TIPO DE MOVIMIENTO EN MASA	
2020	1	Deslizamiento	1
2019	6	Deslizamiento	5
		Caida	1
2018	2	Deslizamiento	2
2017	1	Deslizamiento	1
2016	3	Deslizamiento	1
		Flujo	2
2015	2	Deslizamiento	1
		fFlujo	1
2014	8	Deslizamiento	8
2013	1	Deslizamiento	1
2012	1	Deslizamiento	1
2011	2	Deslizamiento	2
2006	3	Deslizamiento	3
2004	2	Deslizamiento	2
2002	1	Deslizamiento	1
1999	7	Caida	1
		Deslizamiento	6

Fuente: Elaboración propia con base en información disponible Servicio geológico colombiano (SGC), Desinventar y Oficina municipal de gestión del riesgo Cartago (OMGRDC).

**Figura 12.** Gráfico de los Movimientos en masa del Municipio de Cartago Valle del Cauca



Fuente: Elaboración propia con base en información disponible Servicio geológico colombiano (SGC), Desinventar y Oficina municipal de gestión del riesgo Cartago (OMGRDC).

### 12.9 Análisis relación de información entre pérdida de cobertura vegetal e inventario de proceso morfodinámicos

De acuerdo a la información cuantificada de pérdida cobertura vegetal, se aplica un análisis multitemporal y el inventario de procesos morfodinámicos que muestra la ocurrencia del movimiento en masa para el municipio de Cartago valla de cauca, se puede establecer una relación entre estas, ya que se puede evidenciar que a raíz de la pérdida de coberturas también los movimientos en masa se incrementan y se vuelven más recurrente como se puede ver en la figura 12. Al Enlazar la información entre la pérdida de cobertura vegetal y la de inventario de proceso morfodinámicos se tiene que durante los años 2010 al 2014 se presentaron 12 movimientos en

masa en el municipio y también en este periodo de tiempo se perdió más 400 hectáreas de las diferentes coberturas, así mismo según el inventario en el 2014 se presentaron 8 eventos por movimiento en masa, ratificando una de las causas basándose en la teoría del Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS, ya que dentro de su clasificación de causas de movimiento en masa se encuentran las de tipo morfológicas y dentro de estas se menciona la eliminación de coberturas vegetales, resaltando el papel importante que cumple las coberturas para la protección de los suelos y así mismo evitar este tipo de amenazas.

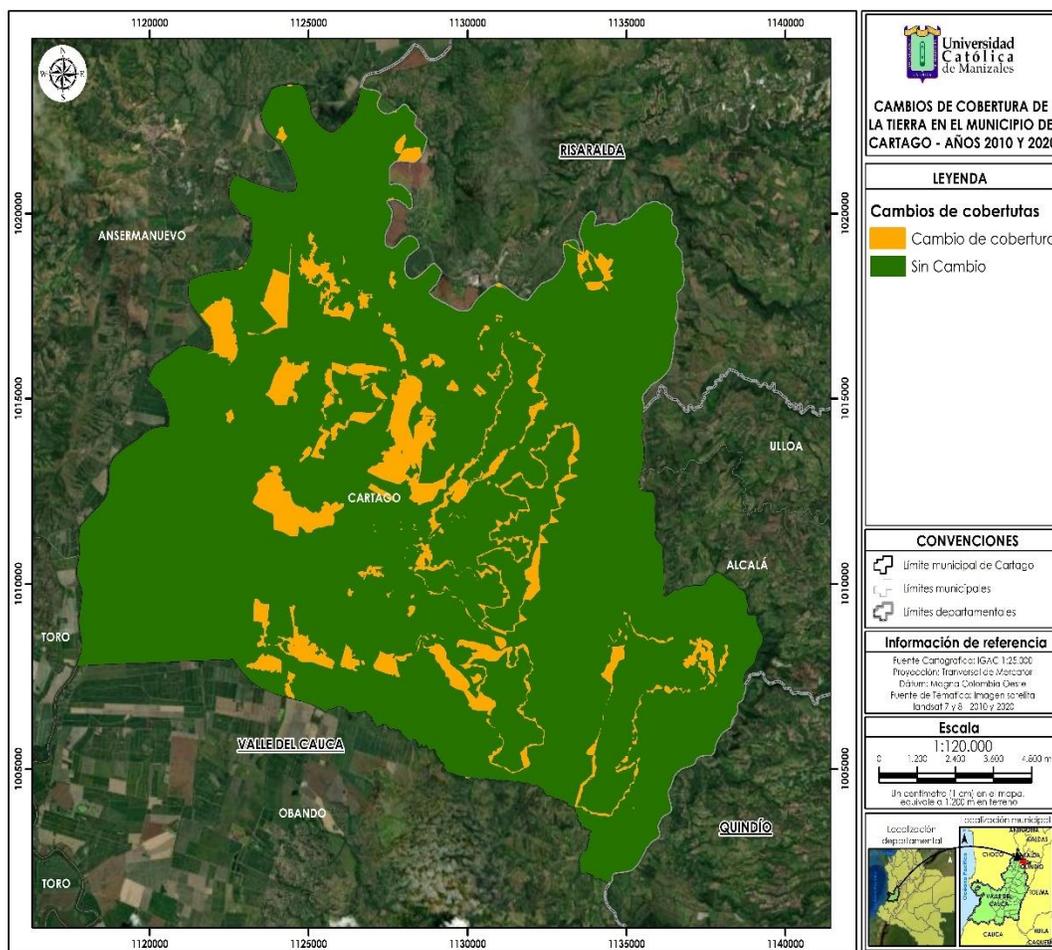
En la figura 13 se podemos apreciar cambios de la pérdida de cobertura vegetal entre los años 2010 al 2020 donde se aprecia que efectivamente se los puntos donde se perdido cobertura.

Para mirar si efectivamente se puede obtener una relacion de movimiento en masa y la pérdida de coberturas que se presenta el municipio, se reliaza una comparacion entre el mapa de coberturas y amenaza por movimientos en masa, estas se superponen las capas.

En la figura 14 tenemos los resultados producto de superponer las imagenes, donde se observa las zonas de amenaza alta, los cambios de coberura y algunos puntos donde encontramos la ubicación de algunos delizamientos para el municipio entre los años 1999 y 2020 .

En la cuantificación de la pérdida de cobertura para los años 2014- 2020 se aprecia unas ganancias en diferentes coberturas, pero también se evidencia que para el año 2019 se presentan 6 movimientos en masa, con esto se puede deducir que las coberturas al ser incipientes no alcanzan a contrarrestar las acciones para ayudar a la estabilidad del terreno.

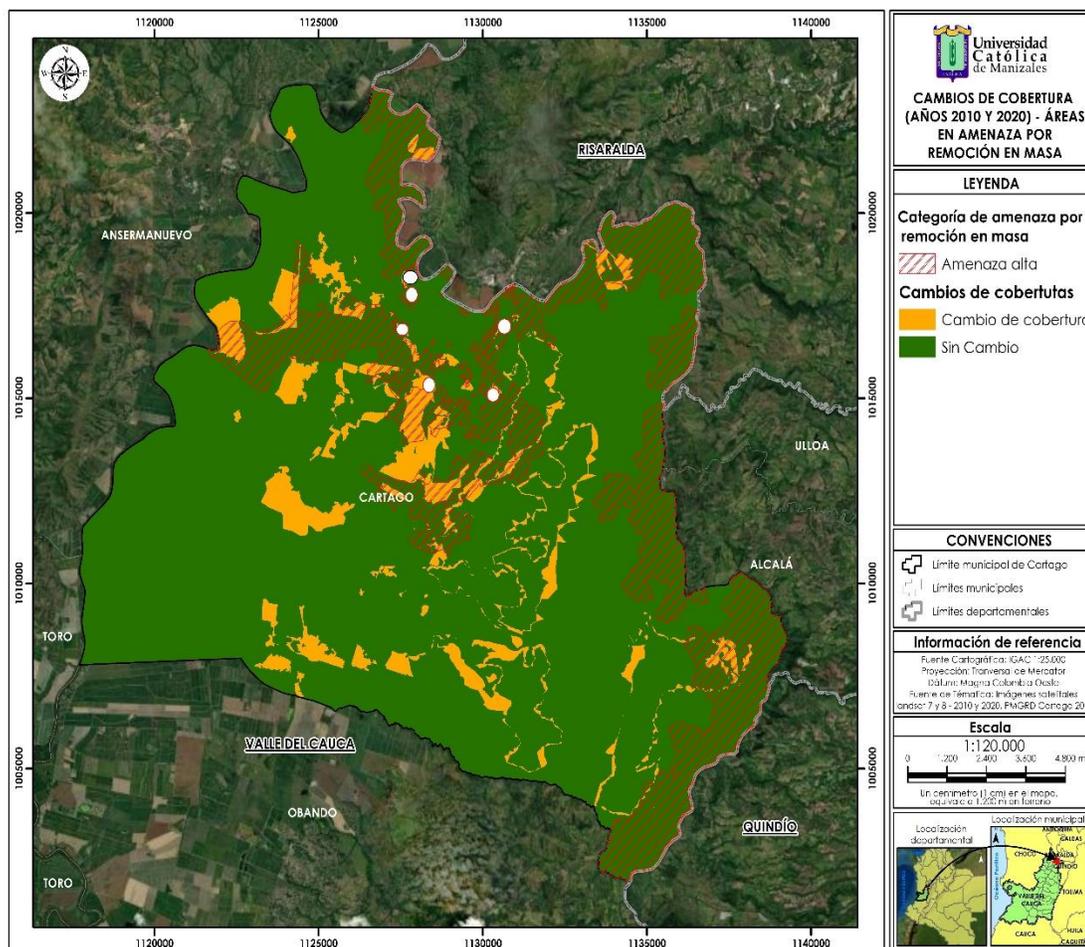
**Figura 13. Pérdida de cobertura vegetal 2010-2020**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 14.** Cambio de la pérdida cobertura 2010- 2020 Áreas en amenaza por remisión

en masa



Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Plan Municipal del riesgo de desastres Cartago Valle del Cauca

### 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al comparativo del análisis multitemporal para los años 2010 al 2020, es evidente la pérdida de cobertura vegetal para el municipio de Cartago Valla del Cauca.

Durante el periodo analizado del año 2010 al año 2014, se evidenció que las coberturas naturales presentaron grandes pérdidas. Entre ellos encontramos pastos enmalezados perdió 114,286 hectáreas aproximadamente y el bosque denso tuvo una pérdida de 4,99 hectáreas. Dichas coberturas fueron reemplazadas por áreas de mosaico de pastos con espacios naturales con más 192,181 hectáreas, mosaico de cultivos con 87,214 hectáreas y tejido urbano con 9,940 hectáreas. Este comportamiento de las coberturas puede ocasionar un aumento en la susceptibilidad a movimiento en masa como se pudo evidenciar para el año 2014, en el cual se encontró que la pérdida de cobertura fue evidente, así mismo, se establece relación entre la pérdida de cobertura y los movimientos en masa, confirmando que una de las causas que provocaban el movimiento en masa es la pérdida de cobertura vegetal (USGS, 2004).

La cobertura de la tierra es tan solo uno de los aspectos condicionantes, importantes para que se generen movimientos en masa, analizado en este estudio, que para cuya investigación fue necesario apoyarse de información primaria y secundaria y a su vez se emplearon imágenes satelitales, procesamiento de imágenes e inventario de procesos morfodinámicos. Sin embargo, como especialistas en gestión de riesgo de desastres se propone el poder realizar un estudio de forma multidisciplinar, contando con diferentes profesionales para indagar más entre la relación de la pérdida de cobertura vegetal y los movimientos en masa, aplicando la guía de susceptibilidad del Servicio Geológico Colombiano año 2017.

Se puede tener una relación directa movimientos en masa de acuerdo a la investigación, pero tan poco se puede afirmar que sea solo la única causa para que se presenten movimientos en masa en el municipio

Este tipo de trabajos sirve de herramienta base para actualizar instrumentos de planificación como el plan de ordenamiento territorial del municipio, clave en todo lo que se viene en la adaptación al cambio climático e incluso sirve de base para el plan municipal de gestión de riesgo de desastres.

Como recomendación se propone estudiar más la problemática de la pérdida de cobertura vegetal ya que puede generar erosión sobre los suelos y aumentar la ocurrencia del movimiento en masa. Es por eso necesario intervenir el problema con el fin de disminuir los riesgos de desastres.

Se recomienda actualizar el mapa de riesgos por movimiento en masa para el municipio ya que producto de la pérdida de cobertura vegetal estas zonas también empiezan a entrar en zonas de riesgo por movimiento en masa

Una solución a corto, mediano y el largo plazo se podría definir mediante la recuperación de cobertura densa, aplicando estrategias de parte inicial de los entes gubernamentales del municipio, inculcando la siembra de árboles nativos que permiten a la ayuda de la regulación del agua, además sus raíces aportan estabilidad y sostenibilidad a los terrenos, también estrategias que permitan las buenas prácticas agrícolas y ganaderas.

A nivel social es importante la vinculación de la participación ciudadana en encuentros de capacitaciones sobre temas de conservación de fauna y flora, inculcando una cultura de las buenas prácticas y compromiso que debemos tener con los ecosistemas, y a su vez que estas

malas prácticas de no conservación también los involucra a la hora de que los fenómenos amenazantes se produzcan.

## 14. BIBLIOGRAFÍA

al, I. e. (2009). Análisis de dinámicas de cambio de las coberturas de la tierra.

Alonso, D. (06 de MAYO de 2017). Mapping GIS. Obtenido de <https://mappinggis.com/2015/05/como-descargar-imagenes-landsat/>

Alvarado-Solano, D. P., & Otero-Ospina, J. T. (2017). Areas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia . *Biota Colombiana*, pp. 9-34.

Baumann, V. F. (2007). Movimientos en Masa en la Region Andina- Caida de rocas puente del Inca, Ruta Nacional NO 7. Mendoza, Argentina.

BioDIC. (junio de 2016). Obtenido de [https://www.biodic.net/palabra/cuantificacion/#.X59\\_b4gzbIU](https://www.biodic.net/palabra/cuantificacion/#.X59_b4gzbIU)

Catastro Bogota. (2019). *Ideca*. Obtenido de <https://www.ideca.gov.co/recursos/glosario/ortorectificacion#:~:text=Proceso%20fotogram%C3%A9trico%20que%20asegura%20que,en%20su%20respectiva%20posici%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica.>

Colombiano, S. G. (2017). Guia Metodologica para la Zonificacion de Amenaza por Movimiento en masa . Bogota D.C.

Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo. (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. Bogotá D.C: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.

Consortio pomca Quindío. (2018). Caracterización de la cuenca del rio la vieja. Bogotá D.C.

Corporación Autónoma Regional del valle del Cauca (CVC) con el apoyo del centro internacional de agricultura tropical (CIAT). (2014). Portafolio de Estrategias para la Mitigación y Adaptación al Cambio Climático. Municipio de Cartago Valle del Cauca.

Crozier M. J., G. T. (1999). Frequency and magnitude of landsliding: Fundamental research issues. International conference on Geomorphology, Bologna, 141-155.

Duque, G. (2001). Movimientos Masales. Manizales: Manual de Geología para ingenieros.

Espejo delgado, N. C. (2018). Incidencia de la Dinamica de las Coberturas Vegetales en Susceptibilidad a Fenomenos de Remocion en Masa del Municipio de Mocoa, Putumayo(Texis de maestria). Pontificia Univeridad Javeriana, Bogota D.C.

Felipe, V. Z. (2017). Evaluacion multitemporal de coberuras vegetal en la laguna sonso . Cali, Valle del Cauca .

Figueroa, M. (2016). Saber Metodología. Obtenido de <https://sabermetodologia.wordpress.com/2016/03/06/analisis-interpretacion-datos/>

Geo institutos. (24 de junio de 2010). Plataforma geo institutos. Obtenido de [http://www.geoinstitutos.com/quiens\\_sms.asp](http://www.geoinstitutos.com/quiens_sms.asp)

Gisan, R. (15 de Agosto de 2019). *GIS&BEER*. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/la-jerga-terminologia-teledeteccion/>

Gonzalez Bastidas Estefania, N. m. (Junio de 2020). Analisis Multitemporal del Cambio de Cobertura Vegetal y su Efecto en los Caudales del Rio Guagui. Bogota D.C: Repositorio Universidad Catolica de Colombia . Obtenido de Repositorio de tesis Universidad Catolica de Colombia.

IDEAM. (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra.

Ingeexpert. (2018). sistemas de informacion geografica SIG). Blog Ingeexpert.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (05 de octubre de 2015). Instituto Geográfico Agustín Codazzi . Obtenido de <https://igac.gov.co/es/noticias/cobertura-vegetal-ymucha-materia-organica-claves-para-que-suelos-no-se-afecten>

Javier Álvarez del castillo, G. A. (2013). pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino. Luna Azul , 30-48.

Latinoam, T. (agosto de 2008). Impacto de la perdida de la vegetación sobre las propiedades de un suelo aluvial. Scielo Analytics, versión On-line ISSN 23958030versión impresa ISSN 0187-5779.

Maria Corina Pineda, J. A. (2016). Relacion entre los Cambios de Cobertura Vegetal y la Ocurrencia de Deslizamientos de Tierra en la Serrania del Interior, Venezuela . *Interciencia* , VOL. 41 N.3. Obtenido de [www.Interciencia.net](http://www.Interciencia.net)

Marin Sanchez Roberto, O. J. (2017). Efectos de la Vegetacion en la Estabilidad de laderas . elpoli.

Ortega, S. L. (2013). Caracterización de coberturas vegetales, paramo de Rabanal Cundinamarca - Boyacá. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 13-10-308-040PS.

Otero-Ospina, D. P.-S. (2017). Áreas naturales de bosque seco tropical en el Valle del Cauca, Colombia: Una Oportunidad para la Restauración. *Biota Colombiana* 18, 934.

Paz, P. (02 de abril de 2019). *Terra-i.org*. Obtenido de [www.terra-i.org/news/news/IDENTIFICACION-DE-CAUSAS-DE-PERDIDA-DE-COBERTURA-VEGETAL-EN-EL-OCCIDENTE-DE-HONDURAS.html](http://www.terra-i.org/news/news/IDENTIFICACION-DE-CAUSAS-DE-PERDIDA-DE-COBERTURA-VEGETAL-EN-EL-OCCIDENTE-DE-HONDURAS.html)

Peralta, H. A. (2018). Análisis Multitemporal de la Cobertura Vegetal, Zonas de erosión y dirección del cauce, en la cuenca el rio bravo sur, comprendido del municipio de Soacha en el departamento de Boyacá hasta el municipio de Yopal en el departamento de Casanare. Sogamoso Boyacá.

Portillo, V. L. (24 de junio de 2019). WRI México. Obtenido de <https://wrimexico.org/bloga/reporta-global-forest-watch-m%C3%A1ximos-enp%C3%A9rdida-de-cobertura-forestal>

República, C. d. (24 de abril de 2012). Ley 1523 de 2012. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=47141>

SI-GEO sistema de informacion geografico del sector educativo. (2018). MinEducacion Nacional. Obtenido de [www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html](http://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html)

Sostenible, Semana. (07 de julio de 2020). Medio ambiente. Semana sostenible, <https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/colombia-perdio-14millones-de-hectareas-de-bosque-amazonico-en-34-anos/52766>.

Torres, J. P. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la reserva forestal y protectora. Bogotá: Universidad Distrital Francisco De Caldas.

Univeridad Catolica de chile. (s.f.). *Geomorfologia Dinamica y Climatica*. Obtenido de [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geografia/geomorfologia/html/1\\_1\\_2.html#:~:text=Los%20procesos%20morfofodin%C3%A1micos%20est%C3%A1n%20asociados,la%20sedimentaci%C3%B3n%20de%20dichos%20detritos.&text=La%20denudaci%C3%B3n%20es%20decir%20el,el%20generador%20de](http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/geomorfologia/html/1_1_2.html#:~:text=Los%20procesos%20morfofodin%C3%A1micos%20est%C3%A1n%20asociados,la%20sedimentaci%C3%B3n%20de%20dichos%20detritos.&text=La%20denudaci%C3%B3n%20es%20decir%20el,el%20generador%20de)

Urtubey, D. J. (mayo de 2013). Pautas para la Preparación y Presentación de Cuadros Estadísticos. Obtenido de

<http://estadisticas.salta.gov.ar/web/archivos/documentos/PreparacionyPresentaciondeCuadrosEstadisticos.pdf>

