

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DEL MUNICIPIO DE
SAMACÁ, GENERADO POR ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS**

AUTORES:

ERICA FERNANDA SUÁREZ RAMÍREZ

KAREN NATALIA ACOSTA RIVERA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

TUNJA

2020

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DEL MUNICIPIO DE
SAMACÁ, GENERADO POR ACTIVIDADES SOCIOECONÓMICAS**

AUTORES:

ERICA FERNANDA SUÁREZ RAMÍREZ

KAREN NATALIA ACOSTA RIVERA

TRADAJO DE GRADO

DIRECTOR DE PROYECTO DE GRADO: JULIÁN DAVID PEÑA SEGURA

CODIRECTORA DE PROYECTO DE GRADO: CLAUDIA ROCÍO SUAREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

TUNJA

2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación hace parte del proyecto Colciencias titulado: Plataforma Comunitaria para el Monitoreo de la calidad de Agua en la región de Samacá” convocatoria 794-2018, haciendo parte de los productos del objetivo "Fortalecer la formación de recurso humano que ayude en el proceso de transferencia tecnológica que impacte y de soluciones a los problemas medioambientales"

Se agradece a la comunidad de Samacá, a la entidad ejecutora, la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, a las entidades aliadas Empresa Germán Franco Carbón S.A.S, Universidad de los Andes; al Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, Tecnología e Innovación Francisco José de Caldas, al Ministerio de Ciencias a través del Programa Colombia BIO y la Gobernación de Boyacá por su financiamiento y apoyo a lo largo del proyecto.

Una investigación no tiene sentido, si no llega a ser leída por una persona, y que esta vea en la investigación una forma de cambio de pensamiento. Por tal motivo el agradecimiento va hacia la persona que está leyendo este proyecto, porque si nadie lo hiciera, la creación de material científico no tendría sentido. Esperamos que vean en este trabajo de grado, la parte inicial de grandes cambios.



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A

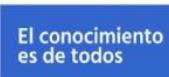


TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	13
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. MARCO REFERENCIAL	16
5.1. MARCO GEOGRAFICO	16
5.1.1. Localización del área de estudio	16
5.2. MARCO TEÓRICO	18
5.2.1. Teledetección	18
5.2.2. Corrección de imágenes Satelitales	20
5.2.3. Metodología Para Identificación De Cobertura Vegetal	24
5.2.4. Calidad Del Agua	27
5.3. MARCO LEGAL	28
5.4. MARCO DE ANTECEDENTES	30
6. METODOLOGÍA	32
7. DESARROLLO CENTRAL	35
7.1. CAPÍTULO 1: PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	35
7.1.1. Corrección de Imágenes Landsat	36
7.1.2. Combinación de Bandas	39
7.1.3. Predicciones De Imágenes	41
7.1.4. Validación	41
7.2. CAPÍTULO 2: DELIMITACIÓN Y PREDICCIÓN DE COBERTURAS VEGETALES	43
7.2.1. Comparación de cobertura vegetal del proyecto actual con el POMCA del Rio medio y bajo Suárez y el POMCA del Rio Garagoa	52
7.2.2. Validación	55
7.2.3. Proyecciones	57
7.2.4. Deforestación en Samacá (Causas y Consecuencias)	58
7.3. CAPÍTULO 3: RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA CALIDAD DEL AGUA	60
7.3.1. Comparación ICA del proyecto actual con el POMCA del Rio medio bajo Suárez y POMCA Rio Garagoa	63
8. IMPACTO SOCIAL, HUMANÍSTICO DEL PROYECTO	66

9. CONCLUSIONES	68
10. RECOMENDACIONES	70
11. ANEXOS	71
11.1. Anexo 1 - Mapas De Coberturas Vegetales	71
11.2. Anexo 2 – Proyección de imágenes	77
11.3. Anexo 3 – Porcentajes de cambio	80
11.4. Anexo 4 – Comparación de cobertura vegetal y calidad de agua.....	82
12. BIBLIOGRAFÍA	100
13. REFERENCIAS	103

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Características generales</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Resolución de Sensores</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3 Rangos espectrales de los sensores satelitales.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4 Transmitancia de cada banda.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5 Leyenda nacional de cobertura de la tierra</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 6 Parámetros para determinación de ICA</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7 Categorías para determinación del ICA</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8 Parámetros para método CWQI-SDA</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 9 Categorías para la determinación de CWQI - SDA.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 10 Corrección de imágenes landsat.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 11 Metodologías para corrección topográfica</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 12 Comparación corrección por bandeo</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 13 Combinación de bandas 453</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 14 Clasificación - Reclasificación</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 15 Fuerza de concordancia, para la implementación de predicciones.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 16 Clasificación Corine land cover</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 17 Análisis general de coberturas vegetales.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 18 Hectáreas de cambio de cobertura vegetal 1998 de 2020.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 19 Porcentajes de cambio de cobertura vegetal año 1998 al 2020</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 20 Comparación cobertura vegetal por medio de la metodología Corine Land Cover</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 21 Comparación con los POMCA- Coberturas vegetales nivel 2</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 22 Grado de sobreutilización del suelo</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 23 Porcentajes de cambio año 2020 a 2034.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 24 Valores de índice de calidad de agua</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 25 Parámetros tomados para Calidad del agua.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 26 Análisis comparación calidad del agua y cobertura vegetal.....</i>	<i>61</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1</i>	<i>Localización del área de estudio.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 2</i>	<i>Perfil de Vegetación.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 3</i>	<i>Evolución histórica de los sistemas de teledetección</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 4</i>	<i>Corrección por bandeo- Gap fill.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 5</i>	<i>Localización de puntos de control.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 6</i>	<i>Especificación de histograma</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 7</i>	<i>Delimitación Samacá</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 8</i>	<i>Agricultura Samacá</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 9</i>	<i>Sistema de Riego</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 10</i>	<i>Industria minera</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 11</i>	<i>Procesamiento de imágenes</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 12</i>	<i>Modelo de corrección topográfica.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 13</i>	<i>Modelo de corrección por bandeo paso 1.....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 14</i>	<i>Modelo de corrección por bandeo paso 2.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 15</i>	<i>Predicción de imágenes</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 16</i>	<i>Procesamiento de validación</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 17</i>	<i>Porcentajes de cambio- Samacá.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 18</i>	<i>Disminución de área desde el 2006 al 2014 - Paramo Rabanal.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 19</i>	<i>Cultivos permanentes</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 20</i>	<i>Bosque</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 21</i>	<i>Bryophyta.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 22</i>	<i>Espeletia grandiflora</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 23</i>	<i>Flor de espeletia</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 24</i>	<i>Ranking de los municipios que más aportan al Sector Primario de la cuenca</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 25</i>	<i>Validación del año 2016</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 26</i>	<i>Validación del año 2020</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 27</i>	<i>Comparación calidad de agua y cobertura vegetal.....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 28</i>	<i>ICA con relación al POMCA de la Cuenca del rio medio y bajo Suárez .</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 29</i>	<i>ICA con relación al POMCA de la Cuenca del Rio Garagoa</i>	<i>65</i>

GLOSARIO

- **ANÁLISIS MULTITEMPORAL**

El análisis multitemporal es conocido como análisis de tipo espacial, se realiza con el fin de conocer e identificar las coberturas vegetales por medio de imágenes satelitales (Ramírez Zapata, 2015).

- **CALIDAD DEL AGUA**

La calidad del agua se caracteriza por la composición físico- química y biología; debe ser apta para los consumidores; debe estar exenta de color, turbiedad, olor y sabor. (Calidad del agua, s.f)

- **COBERTURA VEGETAL**

La cobertura vegetal enmarca toda la parte agronómica y todos los aspectos por parte de los agricultores, los cuales buscan proteger y mantener de manera correcta el suelo (Alcantar, Ramos, Palacios, & García Ortiz, s.f.), esto con el fin de conservar la estructura natural de plantas y cultivos, proporcionando así recursos de buena calidad, sin generar grandes afectaciones como lo son la erosión (Añasco Jiménez, s.f.).

- **CONTAMINACIÓN AMBIENTAL**

La contaminación ambiental es producto de actividades de tipo antrópico como industrias y cultivos implementados de manera no sostenible; esto se da por componentes tóxicos que afectan de manera directa el medio ambiente, lo cual proporciona perjuicios a los seres vivos que están involucrados con lugares bajo estas condiciones (Ceuta,2019).

- **GOBERNANZA FORESTAL**

La gobernanza forestal se relaciona con bosques y comunidades la cual determina la calidad y la buena formación con relación al inventario forestal del estado (Minambiente,2019).

- **ICA**

El ICA es el índice de calidad de agua este es un número entre (0,0-1,0), los cuales se encargan de señalar el grado de calidad del agua; este número depende de condiciones físicas, químicas y en algunos de los casos las condiciones microbiológicas (IDEAM, 2014).

- **IMÁGENES SATELITALES**

Son obtenidas por medio de plataformas las cuales cuentan con sensores de tipo satelital que funcionan mediante radiación electromagnética; imágenes satelitales existen muchas, ya que, esto depende del tipo de sensor implementado; la información es proporcionada desde el espacio, pero sin tener contacto con el planeta (Villarreal Franco, s.f.).

- **ÍNDICE KAPPA**

El índice Kappa se representa mediante una evaluación de imágenes satelitales; este índice se considera un modelo matemático el cual se encuentra en diferentes plataformas y softwares, con el fin de mejorar las predicciones y proyecciones hacia el futuro (ArcGeek, 2017).

- **LANDSAT**

Land= Tierra y Sat= satélite; está conformado por 8 satélites, de los cuales se encuentran activos el 5 y el 8; es el satélite más antiguo en operación, el cual genera imágenes desde 1972, alcanzando imágenes hasta de 11 bandas de distintas resoluciones, con una máxima de 15m. las imágenes Landsat que cuentan con 4 bandas son las Landsat 1,2,3 y la Landsat 8 cuenta con 11 bandas espectrales (INEGI, s.f.).

- **MONITOREO**

El monitoreo hace referencia al control o supervisión de una situación, con el fin de hacer seguimiento o tener en cuenta cambios en determinados procesos. (Valle & Rivera).

- **MOLUSCE**

Es una herramienta de análisis rápido y conveniente de los cambios en la cobertura del suelo; de igual manera es conocido como módulo para similitudes de cambio de uso del suelo, es una herramienta que se encuentra en el software Qgis de manera automatizada (NEXTGIS, 2013).

- **POMCA**

Es el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos (Secretaría distrital de ambiente, s.f.).

- **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS**

Los servicios eco sistémicos están muy ligados a la vida; en especial a la vida humana, puesto que estos servicios son los que proporcionan alimentos y agua para la regulación de cualquier tipo de enfermedad; de la misma manera ayudan y forman parte de la polinización, formación de suelos, beneficios recreativos y todos los aspectos culturales (FAO, 2017).

- **SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**

Los sistemas de información geográfica (SIG), son una herramienta la cual permite manejar diferentes tipos de datos como: localización, también distribución de recursos, Shapes, ya sean de departamentos, regiones o países; todo lo anterior por medio de Hardware y Software. Los SIG se diseñaron con el fin de almacenar, manipular y realizar análisis exhaustivos de información coordinada (MinEducación, 2019).

- **TELEDETECCIÓN**

Es una técnica la cual ayuda a adquirir imágenes de toda la superficie terrestre, por medio de sensores que se encuentran instalados en plataformas espaciales (Conscripto Bernardi, s.f.).

- **USO DEL SUELO**

El uso del suelo se presenta en este recurso, el cual presenta diferentes usos, como: Actividades de tipo minero, agricultura, entre otros; el suelo se considera un recurso que presenta grandes afectaciones de tipo antrópico; ya que la humanidad en su ambición de generar ingresos económicos no tiene en cuenta las afectaciones que se presentan en el caso de: fertilizantes y extracciones (Catedu, s.f.).

RESUMEN

A lo largo de municipio de Samacá se presentan diferentes actividades económicas como la explotación de carbón; en algunas de las zonas se presentan trabajos de minería ilegal o trabajos no formalizados y sin regulaciones medioambientales, generando impactos negativos los cuales son las causas del deterioro hacia los recursos naturales, en donde el más afectado es el recurso suelo.

Los cambios de cobertura vegetal se han convertido en un tema de gran importancia ya que han permitido evaluar la degradación ambiental, esto debido a las diferentes actividades socioeconómicas, como la producción agroindustrial y minera. Para este proceso es necesario hacer un análisis multitemporal por medio de imágenes satelitales multiespectrales Landsat que ayudan a proporcionar análisis en actividades relacionadas como la agricultura y cambios en la corteza terrestre.

El presente proyecto tiene como objetivo general realizar un análisis multitemporal en el municipio de Samacá, donde se establecieron cambios en la cobertura vegetal. Todo lo anterior para los años 1998, 2001, 2007, 2010, 2016 y 2020; por medio de la metodología Corine Land Cover, identificando los porcentajes de variación de coberturas, en donde se pudo identificar que los cultivos transitorios tuvieron un aumento notorio con el paso de los años y de igual manera los pastos esto debido al incremento agropecuario de la zona; en cuanto a las áreas con vegetación herbácea se presentó una disminución a través de los años, esto debido a la expansión de la frontera agrícola y la creación de zonas de extracción mineras generando una degradación significativa al páramo, ya que la vegetación herbácea es nativa de dicho sector; todo esto para poder generar la predicción al año 2034; para esto se tuvo en cuenta la validación del modelo, el cual se realizó con el año 2016 y 2020, dando como resultado una fuerza de concordancia buena y muy buena respectivamente, lo cual indica que es viable la generación de dichas proyecciones, ya que servirán como herramienta de planificación dentro del municipio. De igual manera se conoció la relación de la cobertura vegetal y la calidad del agua teniendo en cuenta parámetros tomados en el año 2020 dentro del municipio.

Palabras claves: Actividades socioeconómicas, análisis multitemporal, Cobertura vegetal, Teledetección, proyección, validación

ABSTRACT

Throughout the municipality of Samacá there are different economic activities such as the exploitation of coal; In some of the areas there are illegal mining jobs or non-formal jobs without environmental regulations, generating negative impacts which are the causes of deterioration towards natural resources, where the most affected is the soil resource.

The changes in vegetation cover have become a topic of great importance since they have made it possible to assess environmental degradation, this due to different socioeconomic activities, such as agro-industrial and mining production. For this process it is necessary to do a multitemporal analysis by means of Landsat multispectral satellite images that help to provide analysis in related activities such as agriculture and changes in the Earth's crust.

The general objective of this project is to carry out a multi-time analysis in the municipality of Samacá, where changes in vegetation cover were established. All of the above for the years 1998, 2001, 2007, 2010, 2016 and 2020; through the Corine Land Cover methodology, identifying the percentages of variation in coverage, where it was possible to identify that the transitory crops had a notable increase over the years and in the same way the pastures this due to the agricultural increase in the area ; As for the areas with herbaceous vegetation, there was a decrease over the years, this due to the expansion of the agricultural frontier and the creation of mining extraction areas generating significant degradation to the paramo, since herbaceous vegetation is native to said sector; all this to be able to generate the prediction for the year 2034; For this, the validation of the model was taken into account, which was carried out with the year 2016 and 2020, resulting in a good and very good concordance force respectively, which indicates that the generation of such projections is viable, since they will serve as a planning tool within the municipality. In the same way, the relationship of the vegetation cover and the water quality was known taking into account parameters taken in 2020 within the municipality.

Key words: Socioeconomic activities, multi-time analysis, Vegetation cover, Remote sensing, projection, validation

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios de cobertura vegetal se están presentando a escala mundial, producto de actividades económicas, generando así problemáticas ambientales. El municipio de Samacá cuenta con una variedad de actividades socioeconómicas las cuales desestabilizan de cierta manera los recursos naturales en este caso el suelo y las fuentes hídricas.

El presente estudio busca realizar un análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el municipio de Samacá evaluando el crecimiento de las zonas de reforestación y deforestación generado por actividades socioeconómicas, debido a que en estudios realizados, solo se tiene en cuenta el páramo Rabanal, dándole prioridad a este, pero hay que resaltar que todo el municipio presenta algunas afectaciones directas producto de dichas actividades; este proceso se desarrolló a través de la metodología Corine Land Cover, con el fin de identificar las coberturas vegetales de los años 1998, 2000, 2007, 2010, 2016 y 2020, estos años fueron seleccionados por la calidad de las imágenes satelitales, y puesto que al usar la metodología Molusco estos se adecuaban al año a proyectar y daban mayor grado de confiabilidad. De igual manera los porcentajes de cambio en cada cobertura, dentro de las cuales se conoce un aumento de cultivos transitorios con el paso de los años, es importante tener en cuenta que día a día se está presentando aumento de actividades agrícolas por tal razón muchos de los sectores han sido afectados por la deforestación, con el fin de implementar dichos cultivos; los pastos también presentan un aumento lo cual es producto del incremento agropecuario de la zona; en cuanto a las coberturas que presentaron disminución a través del tiempo son las áreas con vegetación herbácea y arbustiva, estas se encuentran situadas en el páramo rabanal, el cual está siendo afectado por la expansión de la frontera agrícola y por generación de extracción minera en este sector; de igual forma el páramo presenta tierras con sobre utilización severa ya que se presenta reforestación con fines de aprovechamiento maderable, teniendo en cuenta que no son especies nativas de la zona.

Con todo lo anterior se implementó la proyección para el año 2034, teniendo en cuenta que el esquema de ordenamiento territorial es del 2015, lo que quiere decir que estará vigente hasta el año 2025, dando a entender que no hay documentos que informen de cómo serán los posibles cambios de cobertura vegetal en el futuro; la proyección se validó con el año 2016 y 2020, estimando una fuerza de concordancia buena y muy buena respectivamente, lo que representa que es viable la generación de dichos modelos, ya que expresan de manera confiable los posibles cambios.

De igual forma se evidencia la relación de la cobertura vegetal y la calidad del agua en el municipio de Samacá para el año 2020, teniendo en cuenta los datos expuestos por el proyecto Colciencias denominado plataforma comunitaria para el monitoreo en la calidad del agua en la región de Samacá Boyacá en donde se evidencia que las actividades agropecuarias e industriales son las que generan mayores afectaciones a las fuentes hídricas.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

- Realizar un análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el municipio de Samacá evaluando el crecimiento de las zonas de deforestación generado por actividades socioeconómicas.

Objetivos Específicos

- Clasificar las coberturas vegetales por medio de la metodología Corine Land Cover del municipio de Samacá en los años 1998, 2001, 2007, 2010 y 2016
- Generar un mapa predictivo sobre los posibles cambios de cobertura vegetal que se puedan presentar al año 2034, en el municipio de Samacá.
- Identificar la relación de la cobertura vegetal con los índices de calidad de agua, medidos a través del proyecto monitoreo de la calidad de agua (plataforma comunitaria)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El municipio de Samacá es reconocido regionalmente por ser uno de los que aporta mayor porcentaje de PIB a nivel departamental, esto producto a la gran cantidad de actividades socioeconómicas con las que cuenta el mismo. La economía del municipio se basa principalmente en el uso masivo de commodities, el cual consiste en la extracción de materia prima, fundamental para el inicio de cadenas productivas; como lo es la minería, la agricultura, y la parte agrícola del municipio (Álvarez del Castillo & Agregado Cardona, 2013).

Las malas prácticas en los procesos de extracción, han ocasionado innumerables daños ambientales dentro del municipio, siendo uno de los principales la disminución de cobertura vegetal, generando así problemas encaminados a la disminución de los servicios ambientales, biodiversidad, pérdida de especies de fauna y flora. Lo anterior hace que aumente progresivamente los índices de calentamiento global (Álvarez del Castillo & Agregado Cardona, 2013).

Otro factor que afecta considerablemente a la pérdida de cobertura vegetal, es la ampliación de la frontera agrícola, producto de la sobreproducción de cultivos, lo cual hace que se genere pérdida de biomasa propia del Páramo de Rabanal. De igual modo, Samacá se enfrenta a un conflicto de uso de suelo considerable, lo cual hace que no se destine de manera adecuada el verdadero fin de la tierra (Maria Lossio, 2011).

De igual modo otro factor que afecta considerablemente el medio, es la baja calidad de agua que presenta el municipio de Samacá, puesto que este no evidencia tratamiento de agua después de la utilización de procesos agroindustriales, logrando que aguas debajo de la represa Gachaneca, el agua no sea apta para consumo humano, disminuyendo la calidad de vida para la biota del cauce natural.

Samacá no cuenta con información que evalúe posibles cambios futuros de los biomas, donde se prevenga futuros riesgos ambientales. Al mismo tiempo no cuenta con un análisis detallado en cuanto a la calidad de agua, relacionando varios puntos del río Gachaneca.

A partir de lo mencionado, surge la pregunta de investigación que corresponde a:

¿Se ha generado cambio de la cobertura vegetal en el municipio de Samacá producto de las actividades antrópicas, teniendo en cuenta análisis de imágenes satelitales multiespectrales?

Hipótesis

Los cambios de cobertura vegetal que se han presentado a lo largo del tiempo, son producto de las actividades socioeconómicas que se realizan en el municipio de Samacá, esto ha generado daños ecosistémicos con difícil posibilidad de mitigación.

4. JUSTIFICACIÓN

El municipio de Samacá, tiene un alto potencial minero, industrial y agropecuario, por las condiciones morfológicas donde se encuentra. Samacá por ser valle tiene un potencial agrícola significativo, también, cuenta con alta montaña, y por estas condiciones es un punto focal para extracción minera (Plan de Desarrollo, 2007). El incremento de extracción de minerales como el carbón se ha venido incrementando con el tiempo en el municipio de Samacá, hasta el punto de convertirse en uno de los principales focos de contaminación en la provincia centro del Departamento de Boyacá (IPBES, 2019). Toda esta serie de actividades que se han venido desarrollando en el municipio han ocasionado una tendencia de desarrollo insostenible, generando un alto deterioro ambiental.

En el municipio de Samacá, se registra en el Esquema de Ordenamiento Territorial del año 2015, más de 100 minas que explotan carbón dentro del municipio. En los documentos oficiales, no evidencia cuáles de estas son legales o ilegales, pero el valor es alarmante si se compara con la cantidad de daños ambientales que todas estas industrias pueden causar al ecosistema. El municipio acusa a deterioros de suelos y capas de cobertura vegetal, a la presencia de minería, pero no evidencian documentos técnicos y probatorios que justifiquen dicha afirmación; no evidencia datos, donde se muestre cómo será el cambio de la vegetación si no se toman estrategias funcionales que frenen este daño ambiental. De este modo, es difícil dar una adecuada ordenación del territorio, sin tener en cuenta datos estadísticos del pasado o sus predicciones al futuro. De igual modo es importante resaltar, que un municipio tenga categorizado los tipos de suelos y coberturas que este presenta, pues que de este modo se sabe exactamente lo que se tiene y se pueden tomar decisiones de forma oportuna, adecuada y correcta. Corine Land Cover, la metodología a implementar en este proyecto brinda una clasificación muy acertada, sobre las coberturas que presenta el municipio, esto hace que las personas interesadas puedan visualizar donde posiblemente encuentra agua, algún tipo de vegetación, zonas urbanas, o bosques.

Para el municipio de Samacá se encuentra bajo la jurisdicción del POMCA (Rio bajo y medio Suarez) y el POMCA (Rio Garagoa). Estos documentos oficiales muestran información hidrográfica del municipio, carece de análisis detallado acerca de calidad de agua en el rio gachaneca, creando vacíos ante una posible emergencia, puesto que no se cuenta con mediciones fisicoquímicas del agua, y su relación con las actividades económicas de la zona.

Se quiere brindar al municipio una herramienta de planificación municipal, donde se logre evidenciar porcentajes verídicos, de cómo será el cambio de cobertura vegetal en un futuro, infiriendo posibles focos de desastres naturales. Por lo anterior hace que se busque interpretar como ha sido la afectación a lo largo del tiempo y cómo será esta disminución de cobertura vegetal, y los posibles daños que en un futuro se puedan generar.

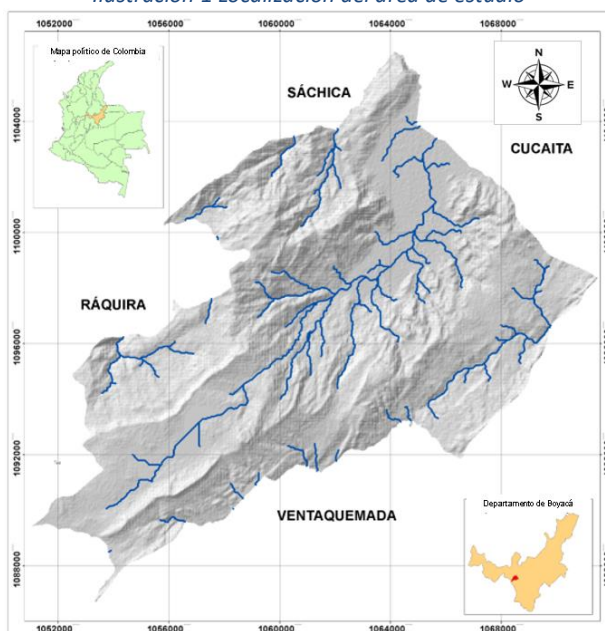
5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO GEOGRAFICO

5.1.1. Localización del área de estudio

Corresponde a todo el municipio de Samacá, el cual pertenece a la provincia Centro del Departamento de Boyacá; el área de estudio limita en el norte con Cucaita, al sur con Ventaquemada, al este con Tunja y al Oeste con Ráquira.

Ilustración 1 Localización del área de estudio



Fuente: Autores

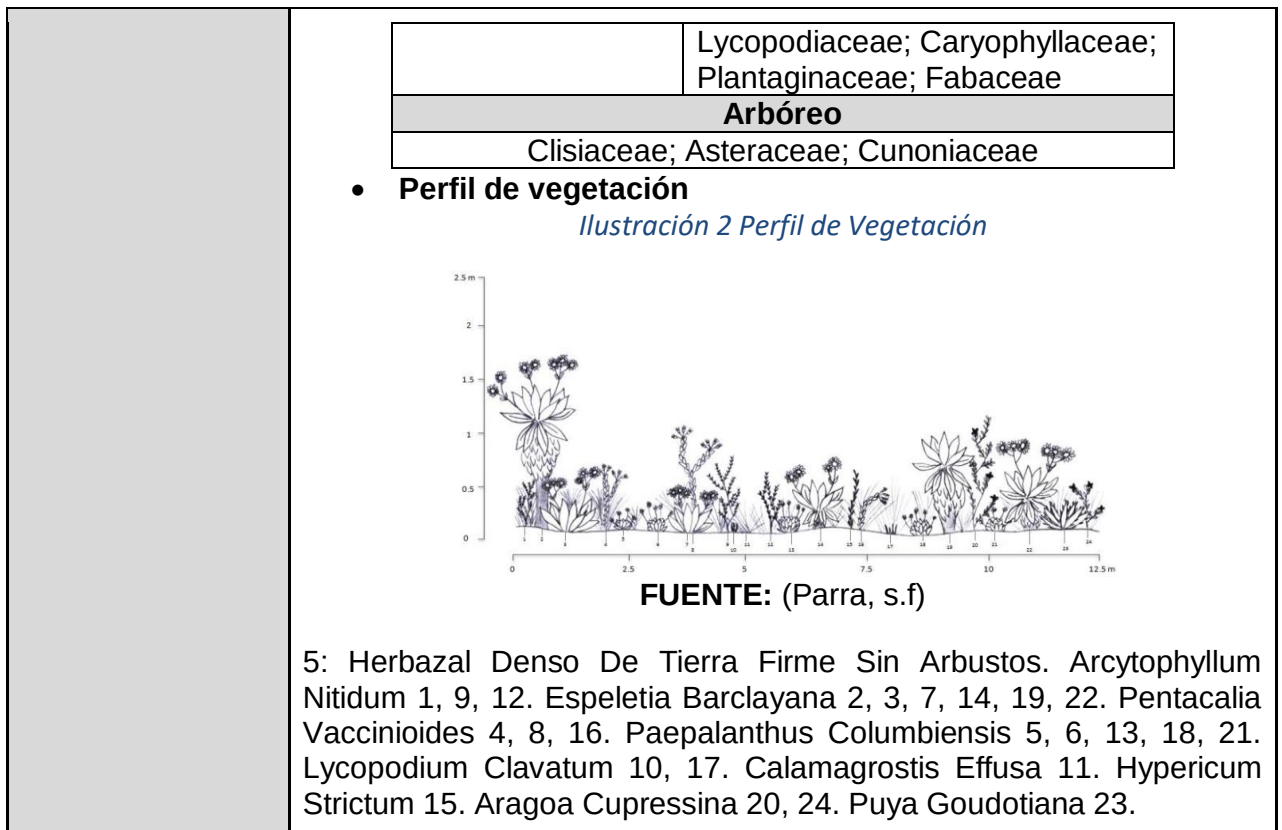
5.1.2. Características generales

En la siguiente tabla se podrá evidenciar las características climáticas, de ecosistema, hidrología y diferentes aspectos.

Tabla 1 Características generales

MUNICIPIO	Samacá
PROVINCIA	Centro
DEPARTAMENTO	Boyacá
EXTENSIÓN	Samacá cuenta con una extensión de 172,9 Km ² ; en el área rural 171,7 Km ² y en el área urbana 1,2 Km ² . Este municipio cuenta con 11 urbanizaciones: Prados del Norte, Balcones de Oriente, Urbanización Shadan, San Diego, Santo Domingo, Luis Carlos Galán, Proyección Gil, Rincón Campestre, Villa del Sol, Urbanización Franco y Villa María; y

	en el área rural cuenta con 12 veredas: La chorrera, Churuvita , Salamanca, Loma redonda, Pataguy, Tibaquirá, Ruchical, Guantoque, Gacal, Páramo centro, El valle y El quite (Alcaldia Municipal de Samacá, 2020).					
POBLACIÓN	Samacá en el año 2020 cuenta con una población de 20.981					
ACTIVIDADES SOCIO-ECONÓMICAS	Dentro del municipio de Samacá se presentan actividades enfocadas hacia la minería, producción de coque, producción primaria y agricultura; lo cual ocupa uno de los renglones más importantes en cuanto a la economía del municipio (Corpoboyacá, s.f.).					
CUENCA	Media alta del río Suárez					
HIDROLOGÍA	El municipio de Samacá cuenta con la represa Teatinos y los embalses Gachaneca I y Gachaneca II; aproximadamente a 3350 metros de altura en el páramo; de igual forma cuenta con un distrito de riego que comprende los dos embalses aproximadamente de 87 km de canales.					
CLIMA	La temperatura media de Samacá es aproximadamente de 6 y 18 grados centígrados; se encuentra entre clima cálido y templado; El promedio anual de lluvia es de 500 a 2000 mm a partir de esto el mes más seco es Enero con 28 mm.					
PAISAJE	Llanuras incrustadas; Terrenos ondulados (suaves, ásperas); Abruptas laderas; Valles pequeños; Ásperas vertientes del flanco cordillerano; Mesetas onduladas; Pajonales paramudos					
ECOSISTEMA	Bosque seco montano bajo; Bosque húmedo montano bajo; Bosque húmedo montano; Páramo andino o Páramo de Samacá caso teatinos, Gachaneca; Bosque seco andino					
VEGETACIÓN	<table><tr><th>Arbustivo</th><th>Herbáceo</th></tr><tr><td>Melastomataceae; Asteraceae; Rubiaceae; Ericaceae; Rosaceae; Clusiaceae; Asteraceae; Cunoniaceae; Primulaceae</td><td>Clethraceae; Bromeliaceae; Aquifoliaceae; Ericaceae; Rosaceae; Poaceae; Oxalidaceae; Campanulaceae; Orchidaceae; Polypodiaceae; Dryopteridaceae; Piperaceae; Polygonaceae; Bromeliaceae; Asteraceae; Apiaceae; Orobanchaceae; Blechnaceae; Grossulariaceae; Berberidaceae; Poaceae; Pteridaceae; Gentianaceae;</td></tr></table>		Arbustivo	Herbáceo	Melastomataceae; Asteraceae; Rubiaceae; Ericaceae; Rosaceae; Clusiaceae; Asteraceae; Cunoniaceae; Primulaceae	Clethraceae; Bromeliaceae; Aquifoliaceae; Ericaceae; Rosaceae; Poaceae; Oxalidaceae; Campanulaceae; Orchidaceae; Polypodiaceae; Dryopteridaceae; Piperaceae; Polygonaceae; Bromeliaceae; Asteraceae; Apiaceae; Orobanchaceae; Blechnaceae; Grossulariaceae; Berberidaceae; Poaceae; Pteridaceae; Gentianaceae;
Arbustivo	Herbáceo					
Melastomataceae; Asteraceae; Rubiaceae; Ericaceae; Rosaceae; Clusiaceae; Asteraceae; Cunoniaceae; Primulaceae	Clethraceae; Bromeliaceae; Aquifoliaceae; Ericaceae; Rosaceae; Poaceae; Oxalidaceae; Campanulaceae; Orchidaceae; Polypodiaceae; Dryopteridaceae; Piperaceae; Polygonaceae; Bromeliaceae; Asteraceae; Apiaceae; Orobanchaceae; Blechnaceae; Grossulariaceae; Berberidaceae; Poaceae; Pteridaceae; Gentianaceae;					



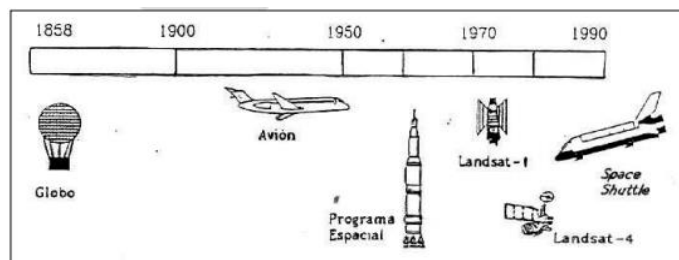
Fuente: (Cdim-Esap, S.F.)

5.2. MARCO TEÓRICO

5.2.1. Teledetección

La teledetección es una técnica desde 1859, cuando Gaspar Tournachón genera sus primeras imágenes por globo; es hasta la década de los 70, donde la NASA pone en funcionamiento ERTS (Earth Resources Technology Satellite), el cual luego es denominado Landsat (Conscripto Bernardi, s.f.)

Ilustración 3 Evolución histórica de los sistemas de teledetección



Fuente:(Conscripto Bernardi, S.F.)

Dentro de los satélites se encuentran unos espectros electromagnéticos sensores los cuales se caracterizan como:

- ❖ **Espectro electromagnético:** es la organización de las bandas con las que cuenta el satélite según la longitud de onda o frecuencia
 - Espectro visible (0,0004 a 0,0007 mm); puede percibir la visión humana, Azul (0,0004 a 0,0005 mm), Verde (0,0005 a 0,0006 mm y la roja (0,0006 a 0,0007 mm)
 - Infrarrojo próximo o cercano (0,0007 a 0,0013 mm); puede detectarse a partir de cintas dotadas de emulsiones especiales
 - Infrarrojo medio (0,0013 a 0,008 mm); presenta la reflexión de la luz solar y las emisiones de la superficie terrestre
 - Infrarrojo lejano o térmico (0,008 a 0,0014 mm); incluye una porción emisiva del espectro terrestre (Conscripto Bernardi, s.f.)
- ❖ **Sensores**

Es un instrumento que puede captar información sin tener contacto directo; la resolución se puede definir como la habilidad para registrar información a detalle

Tabla 2 Resolución de Sensores

Resolución espacial	Objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen
Resolución espectral	Cantidad de bandas en las cuales el sensor puede registrar información
Resolución radiométrica	Energía que puede ser captada por un sensor
Resolución temporal	Frecuencia con la que el sensor puede adquirir imágenes en la misma porción de la superficie terrestre

Fuente:(Conscripto Bernardi, S.F.)

Fundamentos de las herramientas a utilizar: Dentro de las herramientas a destacar están las imágenes satelitales las cuales son esenciales para este tipo de actividad, estas son gratuitas y están de manera general para el público, son imágenes implementadas en la década de los 60, con la finalidad de hacer un monitoreo a recursos naturales, y a partir de esto es que se genera el tema de satélites (Parra, 2014). En la siguiente tabla se presenta rangos espectrales de los sensores satelitales que utilizan para la programación de las imágenes Landsat.

Tabla 3 Rangos espectrales de los sensores satelitales

			BANDAS nm										
Mis.	Sensor	R. m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.1	RBV	80	475-575	580-680	690-830								
	MSS	57x79				500-600	600-700	700-800	800-1100				
1.2	RBV	80	475-575	580-680	690-830								

	MSS	57x79				500-600	600-700	700-800	800-1100				
1.3	RBV	80	475-575	580-680	690-830								
	MSS	57x79				500-600	600-700	700-800	800-1100				
1.4	MSS	57x79				500-600	600-700	700-800	800-1100				
	TM	30-120	450-520	520-600	630-690	760-900	1550-1750	10400-12500	2080-23500				
1.5	MSS	57x79				500-600	600-700	700-800	800-1100				
	TM	30-120	450-520	520-600	630-690	760-900	1550-1750	10400-12500	2080-23500				
1.7	ETM+	15-30-60	450-520	520-600	630-690	770-900	1550-1750	10400-12500	2080-23500	520-900			
1.8	OLI	15-30	430-450	450-510	530-590	640-670	850-880	1570-1650	2110-2290	500-680	1360-1380	10600-1119	11500-125100
	TIRS	100											

Fuente: (USGS, 2017)

OLI=Operador de imagen terrestre, TIR=Sensor infrarrojo térmico, MSS=Escanes multiespectrales, TM=Temático Mapper, ETM+=Thematic Mapper plus mejorado, RBV=Viga de retorno vidicón

Todas las imágenes satelitales cuentan con un porcentaje de error, es por esto que se presenta la necesidad de mejorar la calidad de dichas imágenes para la generación de mejor información Chuvieco E., (1995), para ello se realiza el procesamiento de mejora de distorsión, la cual se da por la rotación de la tierra. En cuanto a las correcciones se presentan diferentes metodologías como la radiometría que usa información de píxeles Chuvieco E., (1995); también se encuentra la metodología geométrica que es la cual ayuda, con los problemas de coordenadas y finalmente la metodología atmosférica que se encarga de la parte de distorsión por radiación.

5.2.2. Corrección de imágenes Satelitales

Las imágenes satelitales están expuestas a diferentes interferencias, las cuales generan errores, como la falla de los sensores, exponen píxeles incorrectos, movimiento en el satélite, etc. para esto se encuentran las siguientes correcciones:

- **Gap fill**

Gap fill corresponde a la corrección del bandeo en imágenes Landsat, para esto la USGS contiene un sistema para corregir este tipo de imágenes, por medio de interpolación; las imágenes que cuentan con este problema son las landsat 7 debido a la ausencia de información y con una ligera inclinación hacia los laterales, lo que genera franjas o líneas paralelas entre sí.

Ilustración 4 Corrección por bandeo- Gap fill



Fuente: (GIS&Beers, 2019)

De igual manera este tipo de problema se presenta por una mala calibración entre detectores. es necesario calcular unos coeficientes a_k y b_k para una corrección lineal de cada uno de los detectores o bandas

$$b_k = \frac{s}{s_k}$$

$$a_k = m - b_k m_k$$

Donde ND corresponde a los números digitales de la escala según su almacenamiento: 8bits,12 bits y 16 bits; m y s son la media y la desviación típica del conjunto de píxeles de la imagen y m_k y s_k la media y la desviación típica de los pixeles obtenidos por el detector k. A continuación, los ND de la imagen se recalculan como:

$$ND'_{i,j} = a_k + b_k ND_{i,j}$$

asumiendo que la línea i ha sido captada por el detector k (Geograf, s.f.).

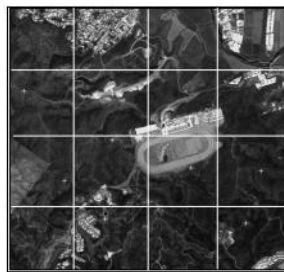
- **Geométrica**

Corrige es desplazamiento y distorsión que presentan las imágenes, debido a la inclinación del sensor, la influencia del relieve y algunos errores sistemáticos con relación a la imagen; de igual manera contiene una transformación de las coordenadas.

Esta corrección se desarrolla por medio de una transformación polinomial de segundo grado, como se evidencia a continuación en donde se deben tener en cuenta inicialmente la localización de los puntos de control y luego proceder a la transformación de coordenadas

1. Localización de puntos de control: Principalmente se trocea la imagen en cuadros en los cuales se busca los puntos de control

Ilustración 5 Localización de puntos de control



Fuente: (Ambrosio, González, & Arévalo, 2002)

2. Transformación de coordenadas: los puntos de control se emplean para calcular los coeficientes del sistema polinomial, de la siguiente manera:

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy$$

donde (X", Y") y (x, y) son las coordenadas de los píxeles de la imagen corregida y sin corregir.

3. Transformación de niveles de grises: se calcula el nivel de gris de los píxeles en la imagen ya corregida, en donde se emplea una convolución cúbica que promedia el valor de 16 vecinos. (Ambrosio, González, & Arévalo, 2002)

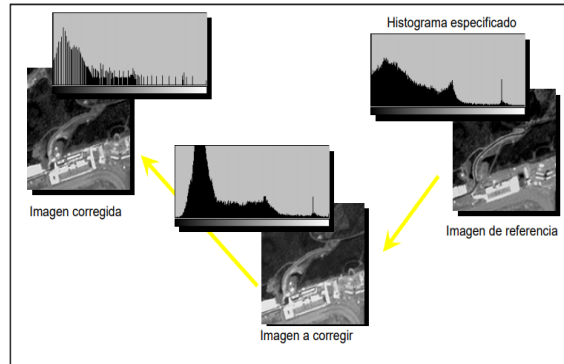
- **Radiométrica**

Se hace necesaria debido a que las imágenes satelitales no aparecen con los mismos valores de intensidad por las inevitables diferencias de las condiciones atmosféricas y de iluminación. Se han desarrollado dos alternativas: la corrección radiométrica absoluta en donde se utilizan modelos analíticos, y la corrección radiométrica relativa en donde se realiza una transformación de niveles basada en histogramas.

La corrección radiométrica absoluta se descartó por la complejidad y algunos parámetros desconocidos como las condiciones atmosféricas locales, variaciones estacionales y geométricas, nubosidad, lluvia, etc.

La corrección radiométrica relativa se denominó especificación de histograma, la cual consiste en modificar el nivel de intensidad de un píxel de la imagen a corregir por medio de la transformación; principalmente se ha utilizado (5120x5120 píxeles y 256 niveles).

Ilustración 6 Especificación de histograma



Fuente: (Ambrosio, González, & Arévalo, 2002)

- **Atmosférica**

Consiste en evaluar y eliminar las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia; principalmente se convierte los niveles digitales almacenados por el sensor en valores de radiancia

Cualquier imagen contiene valores numéricos debido a niveles digitales que el satélite obtiene; para la recuperación es necesario aplicar la inversa de esa ecuación lineal.

$$L_{sen,k} = a0_k + a1_k ND_k$$

El término k se refiere a cada una de las bandas del sensor, Lsen, k es la radiación que recibió el sensor. En la siguiente tabla aparecen los valores de estos parámetros para landsat 5 junto a los valores de irradiación solar en el techo de la atmósfera (E0k) y de transmitancia (τk) para cada una de las bandas.

Tabla 4 Transmitancia de cada banda

Banda	E0k	a0k	a1k	Tk
TM1	1957	-1,5	0,602	0,5
RM2	1829	-2,8	1,17	0,3
TM3	1557	-1,2	0,806	0,25
TM4	1047	-1,5	0,815	0,2
TM5	219,3	-0,37	0,108	0,125
TM7	74,52	-0,15	0,057	0,075

FUENTE: (Geograf, s.f.).

Es necesario el uso de la ecuación que expresa la radiancia introducida por la propia atmósfera

$$L_{sen,k} = L_{sue,k} \tau_{ka} + L_{a,k}$$

El primer paso para la corrección atmosférica es la estimación de La, k, ya que esta disminuye al aumentar la longitud de onda. Existen dos métodos relativamente sencillos:

1. Mínimo de histograma: la cual consiste en localizar las áreas con reflectancia cercana a cero en el infrarrojo
2. Regresión: Se analiza una regresión para los siguientes parámetros:

$$TM_1 = a_1 TM_4 + b_1$$

$$TM_2 = a_2 TM_4 + b_2$$

$$TM_3 = a_3 TM_4 + b_3$$

y utilizando b_k como estimación de L_a , k .

Los valores de transmisividad pueden evaluarse a partir de la ecuación

$$Tk, a = e^{\frac{-Tk}{\cos \theta_0}}$$

donde θ_0 es el ángulo de observación (Geograf, s.f.).

- **Topográfica**

La corrección topográfica permite equilibrar las diferencias de iluminación solar, por la variación altitudinal del terreno; se hace necesario calcular la iluminación (IL) (Riaño, Salas, & Chuvieco, s.f.).

$$IL T \cos^0 \cdot_i T \cos \neg \cdot_i G \sin \neg \cdot_p \sin \neg \cdot_i \cos F \blacksquare \cdot_a H \blacksquare \cdot_0 f$$

$\neg p$ = pendiente del terreno

$\neg i$ = ángulo cenital solar

$\blacksquare a$ = ángulo azimutal solar

$\blacksquare 0$ = ángulo de orientación

5.2.3. Metodología Para Identificación De Cobertura Vegetal

5.2.3.1. Corine Land Cover

A partir de las correcciones, las imágenes son usadas especialmente para establecer el uso de tierras y en muchos casos para determinar las coberturas vegetales a lo largo del tiempo; la cobertura de tierra se relación con toda la parte de cubierta biofísica, temas de vegetación, afloramientos rocosos y fuentes hídricas como lo expresa Di Gregorio & Jasen, (2000) y el uso del suelo hace relación a las actividades ya sean de tipo antrópico, que se implementan para producir, modificar o mantener una superficie (FAO & FAO/UNEP, 1997). En el año 2004 se comienza a adoptar en Colombia una metodología europea para determinar el uso que se le da a las tierras la cual recibe el nombre de Corine Land Cover (Alzate Giraldo & Sánchez Gómez, 2018).

Esta es una metodología que se encarga de compilar información sobre el estado real del ambiente; coordina la compilación de datos y la organización de la información y

asegura que la información sea consistente; para esto es necesario imágenes de satélite USGS de tipo Landsat (Corredor Gil, Cárdenas Quiroga, & Ordoñez López, 2011).

Tabla 5 Leyenda nacional de cobertura de la tierra

LEYENDA NACIONAL DEL COBERTURAS DE LA TIERRA – COLOMBIA		
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS		
1.1. Zonas Urbanizadas		
1.1.1. Tejido Urbano continuo	1.1.2. Tejido Urbano discontinuo	
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación		
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	
1.2.3. Zonas portuarias	1.2.4. Aeropuertos	
1.2.5. Obras hidráulicas		
1.3. Zonas de extracción minera y escombrera		
1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.2. Zonas de disposición de residuos	
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas		
1.4.1. Zonas verdes Urbanas	1.4.2. Instalaciones recreativas	
2. TERRITORIOS AGRICOLAS		
2.1. Cultivos transitorios		
2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.1.2. Cereales	
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.1.4. Hortalizas	
2.1.5. Tubérculos		
2.2. Cultivos permanentes		
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2.2.4. Cultivos agroforestales	
2.2.5. Cultivos confinados		
2.3. Pastos		
2.3.1. Pastos limpios	2.3.2. Pastos arbolados	2.3.3. Pastos enmalezados
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		
2.4.1. Mosaico de cultivos	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales		
3. BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES		
3.1. Bosque		
3.1.1. Bosque denso	3.1.2. Bosque abierto	
3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.4. Bosque de galería y ripario	
3.1.5. Plantación forestal		
3.2. Áreas con vegetación herbáceas y/o arbustiva		
3.2.1. Herbazal	3.2.2. Arbustal	
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición		
3.3. Áreas abiertas sin o con poca vegetación		
3.3.1. Zonas arenosas naturales	3.3.2. Afloramientos rocosos	

3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	3.3.4. Zonas quemadas	
4. AREAS HUMEDAS		
4.1. Áreas húmedas continentales		
4.1.1. Zonas pantanosas	4.1.2. Turberas	
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua		
4.2. Áreas húmedas costeras		
4.2.1. Pantanos costeros	4.2.2. Salitral	4.2.3. Playones de bajamar
5. SUPERFICIES DE AGUA		
5.1. Aguas Continentales		
5.1.1. Ríos (50m)	5.1.2. Launas, lagos y ciénagas naturales	
5.1.3. Canales	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	
5.2. Aguas marítimas		
5.2.1. Mares y océanos	5.2.2. Estanques para acuicultura marina	

Fuente: Ministerio De Ambiente, 2010

5.2.3.2. Ecuación universal de pérdida de suelo

Dentro de las metodologías implementadas para poder identificar el cambio de cobertura vegetal se presenta la ecuación universal de pérdida de suelo, la cual se realiza anualmente:

$$usle = R * K * LS * C * P$$

R= Erosividad de la precipitación

K= Erosionalidad del suelo

LS= Factor topográfico longitud – gradiente de la pendiente

C= Factor de gestión del cultivo

P= Relación perdida de suelo entre una parcela donde se aplique la práctica de conservación del suelo

De igual manera para identificar los cambios de cobertura vegetal es necesario un análisis multitemporal, el cual permite detectar cambios de los recursos naturales Chuvieco, (2002), el objetivo es compilar imágenes de diferentes fechas para así poder determinar el cambio; para todo esto se hace necesario el uso de imágenes satelitales o aéreas las cuales se obtienen por medio de sensores, estas se utilizan para extraer información y datos, con el fin de detectar la erosión del suelo, el crecimiento de bosques, la gestión de cosechas y el crecimiento de áreas urbanas (Polanco, 2006). Para esto es importante el manejo de Softwares, los cuales ayudan a la interpretación de información y al manejo de cada uno de los productos a obtener (Morocho Tenezaca, 2013).

5.2.4. Calidad Del Agua

El índice de calidad del agua (ICA) tiene en cuenta parámetros físico químicos y biológicos, en donde se tiene en cuenta una ecuación matemática, por la cual se evalúa las condiciones del cuerpo de agua (Yogendra & Puttaiah, 2008). Con el ICA se puede realizar un análisis muy general de la calidad del agua bajo diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad.

Actualmente existen diferentes metodologías para evaluar la calidad del agua, todo radica en los parámetros con los que se cuenta.

5.2.4.1. Calculo Del Ica

Método UWQI – IDEAM

El IDEAM en el estudio nacional del agua aprobó la metodología Universal Water Quality Index (UWQI), la cual se desarrolló con el fin de establecer la calidad de agua usada para consumo humano.

$$UWQI = \sum_{i=1}^n W_i I_i$$

Wi = Peso o Porcentaje asignado al i-ésimo parámetro

Li= Subíndice de i-ésimo parámetro

El IDEAM adopto seis parámetros básicos para la determinación del ICA en los cuerpos de agua

Tabla 6 Parámetros para determinación de ICA

Estado	Oxígeno Disuelto
Presión	Demanda química de oxígeno (DQO)
	Conductividad eléctrica (CE)
	Sólidos suspendidos totales (SST)
	Ph
	Relación nitrógeno total / Fosforo total

Fuente:(IDEAM, 2011)

Los valores comprenden una escala de cero (0) a uno (1) en cinco categorías:

Tabla 7 Categorías para determinación del ICA

Muy mala	0,00 – 0,25
Mala	0,26 – 0,50
Regular	0,51 – 0,70
Aceptable	0,71 – 0,90
Buena	0,91 – 1,00

Fuente:(IDEAM, 2011)

Método CWQI - SDA

La secretaria distrital de ambiente adopto la metodología canadiense Canadian Water Quality Index (CWQI), para la determinación de la calidad del agua.

Tabla 8 Parámetros para método CWQI-SDA

Oxígeno Disuelto	Fósforo total
Ph	Coliformes fecales
DBO	Grasas y Aceites
DQO	Solidos suspendidos totales
Nitrógeno total	Tenso activos

Fuente: (Fernández & Solano, 2005).

$$WQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732}$$

F1= Porcentaje de parámetros que exceden la norma (alcance)

F2= Porcentaje de pruebas individuales de cada parámetro que excede la norma (Frecuencia)

F3= Magnitud en la que excede la norma cada parámetro que no cumple

Tabla 9 Categorías para la determinación de CWQI - SDA

Pobre	0 – 44 unidades
Marginal	45 – 64 unidades
Aceptable	65 – 79 unidades
Buena	80 – 94 unidades
Excelente	95 – 100 unidades

Fuente: (Fernández & Solano, 2005).

5.3. MARCO LEGAL

En la actualidad el medio ambiente se ha establecido como un bien de tipo jurídico, donde su protección y uso racional, está reglamentado por la normatividad vigente, donde busca una relación de bienestar el medio ambiente y la sociedad. Lo anterior con el propósito de no solo beneficiar la población actual, sino salvaguardando recursos naturales a las sociedades futuras, lo que se entiende como desarrollo sostenible.

Es necesario resaltar la constitución política de la república de Colombia de 1991, Artículo 80, el cual establece la administración y aprovechamiento de los recursos naturales, con el fin de garantizar un desarrollo sostenible; de igual manera es importante tener en cuenta el Código de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente (Decreto-Ley 2811 de 1974). En este decreto cabe resaltar el Artículo 8, donde se considera cambios nocivos en la biota por causa de contaminación ambiental, ocasionando pérdidas de biodiversidad biológica. Por otro lado, con el Artículo 137 se señala que los cuerpos de agua son objeto de protección. De igual manera cabe resaltar que en el Artículo 329, donde se mencionan zonas de reserva natural, las cuales tienen como propósito la conservación de toda la diversidad en temas biológicos.

La ley 99 de 1993, fue creada por el ministerio de medio ambiente con el fin de reordenar la gestión y conservación de todo el medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

Por otro lado, en la Ley 1021 de 2006, la cual 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. También es necesario mencionar la Ley 99 de 1993, esta aparte de crear el Ministerio del Medio Ambiente, donde se ordena el sector encargado a la conservación del medio ambiente y recursos naturales, también se crea el SINA; la ley 139 de 1994 con el cual se certificó los incentivos forestales (CIF) y el artículo 250 de 1995, con la misma finalidad, CIF de conservación.

Con relación a la Ley de gestión ambiental la cual se codificó en el año 2004, estableció el sistema nacional descentralizado de gestión ambiental, la cual comprende instituciones del sector público que se encuentran obligadas a proteger la diversidad biológica y de igual manera a garantizar la permanencia de los ecosistemas.

De igual manera es importante tener en cuenta los acuerdos ministeriales como el 168 de 2010 en donde se determinan las áreas protegidas municipales y también es necesario, resaltar el CONPES 2834 DE 1996, este convenio brinda respuestas integrales, donde contribuye a proteger los bosques nativos, deteniendo procesos de deforestación y deterioro que puedan ocasionar impactos negativos en el ecosistema. Así mismo buscar asegurar el compromiso común donde prevalezca la conservación y desarrollo sostenible de los bosques.

Dentro de la identificación de los cambios de cobertura vegetal se hace necesario mencionar el protocolo que se encarga del seguimiento y control de industrias y empresas de transformación o comercialización de productos forestales impuesto por el ministerio del medio ambiente; este documento se desarrolló con el fin de inspeccionar y controlar a las empresas de comercialización de productos, con este protocolo se espera que todas las autoridades ambientales cuenten con herramientas metodológicas que permitan la ilegalidad de los procesos. Asimismo, está muy ligado el protocolo de aprehensión preventiva de flora silvestre maderable (Resolución 2064 de 2010). Para todo esto el ministerio de ambiente propuso un manual de buenas prácticas en las industrias forestales, en donde se presenta un paso a paso de cómo manejar este tema sin generar afectaciones.

Teniendo en cuenta los cambios de cobertura vegetal es importante mencionar el tema de Ordenamiento territorial bajo la Constitución política de Colombia con el Artículo 311, en donde expresa que el municipio debe ordenar el desarrollo de su territorio como entidad fundamental de la división político administrativa del estado; otro de los Artículo es el 313 donde reglamenta los usos del suelo.

La ley 388 de 1997, Artículo 24, rige lo relacionado con el ordenamiento territorial, en donde el alcalde municipal a través de la oficina de planeación será responsable de coordinar la formulación oportuna del proyecto del plan de ordenamiento territorial; de

igual manera la Ley 810 de 2003, Artículo 12, la cual es aplicable a los concejos municipales y distritales, con el fin de generar ajustes a los POT.

5.4. MARCO DE ANTECEDENTES

La “Cobertura vegetal” o también conocida como la cobertura de tierra que se observa sobre la superficie terrestre, es un concepto que alberga gran extensión, puesto que este término describe la vegetación existente en una zona; las condiciones biofísicas y demás componentes presentes sobre de la tierra. Los otros componentes que se describen dentro de la cobertura son erosión, afloramiento rocoso, presencia de agua o de cultivos. (IDEAM,2012).

El estudio de esta parte del ecosistema es de suma importancia, puesto que, de dicha manera, se conoce a ciencia cierta las condiciones bióticas de la zona, encontrando posibles afectaciones que puedan estar degradando su biodiversidad, tal como lo afirma (Best, Zhang, L, McMahon, T, Western, A., & Vertessy, R., 2003). De igual modo, según el tipo de vegetación que se presente, se puede inferir, condiciones hidrográficas.

Históricamente el hombre, ha mostrado necesidad por indagar qué tipo de especies vegetativas se encuentran a su alrededor, puesto que como se mencionaba anteriormente, con dicha información, se puede tener una noción cercana, de la calidad del suelo que se tiene, presencia de humedad, o de erosión.

Los primeros análisis de cobertura vegetal se registran en China, cercano al río Shulen, JUN, YANG, DONGMEI, QIANG, & WANNAI, (1985), menciona que la cobertura vegetal es un indicador importante en el ecosistema, puesto que se asemeja a un vínculo con varias biosferas. Cabe resaltar que los primeros estudios que se registran, coinciden con la necesidad de interpretar las condiciones vegetativas en zonas cercanas de ríos, y cuencas hidrográficas.

Posteriormente, el mundo busco realizar estudios con un mayor grado precisión, por ende, iniciaron a realizarse estudios multitemporales, donde se analizan una serie de datos, con años diferentes. Este tipo de estudios tiene dos finalidades, comprender cómo ha sido el cambio desde el pasado hasta el presente y el cambio a una proyección futura. Este es el caso de Gulersoy & Celik, (2017), que realizaron un estudio desde el año 1990 hasta el 2015, con el fin de conocer los niveles de degradación del suelo, y así poder evaluar estrategias viables para frenar la alteración al medio. Estos estudios en el mundo se muestran con más frecuencia hacia el análisis de cultivos, y de zonas boscosas de gran extensión.

Ahora bien, en Colombia sus inicios fueron un poco distintos, pero con alta colaboraciones de países más modernos. Para el país, los primeros indicios de búsqueda de vegetación en el territorio inician con la expedición botánica dirigido por José Celestino Mutis, cuya misión era reconocer el territorio nacional, con el fin de identificar todas las especies de tipo vegetal que se encontraran en el territorio, esto, para identificar los diferentes tipos de vegetación, y de este modo clasificar los ecosistemas según sus características, climáticas, morfológicas y biológicas. Claro está, que en esta expedición

se otorgaron nombres científicos a gran variedad de flora, de este modo, fue más fácil reconocer características propias de la especie.

Una de las primeras publicaciones que se registra en Colombia, se realiza en Santa Marta en el año 1998, donde querían ver las condiciones de los estuarios, en el complejo lunar natural. (Gónima, L., Mancera-Pineda, J. E., & Botero, L. 1998). Posteriormente, se registran estudios, en nevados, lugares cercanos a las cordilleras, y tiempo después lo que se relaciona con áreas nacionales protegidas, dentro de ellas los Páramos, siendo este el que cuenta con mayor registros de estudios, como es el caso de Hincapié, J. C. A., Castillo, C. B., Argüello, S. C., Aguilera, D. P. R., Holguín, F. S., Triana, J. V., & Lopera, A. (2002), donde se realizó un análisis teniendo en cuenta como se han venido afectando el cambio de uso de suelo en dichas zonas de protección, y como esta ha afectado a la biodiversidad del lugar. Cabe resaltar que, aunque Colombia presenta un porcentaje alto de Páramos, estos no han sido estudiados en su totalidad; como lo afirma Parques Nacionales Naturales. Algunos de ellos presentan una serie de resultados, en cuanto a los cambios de la cobertura vegetal, pero ninguno registra una proyección futura.

Otro estudio más actualizado; que es importante mencionar, es el uso de las herramientas con las que se cuentan actualmente, estas tienen mayor grado de precisión y rendimiento, puesto que ahora se cuenta con imágenes satelitales multitemporales, con gran variedad de bandas electromagnéticas, que permiten evaluar mayores índices ambientales. Hincapié, J. C. A., Castillo, C. B., Argüello, S. C., Aguilera, D. P. R., Holguín, F. S., Triana, J. V., & Lopera, A. (2002), utilizaron escenarios IPCC- cobertura vegetal, obtención de expertos, datos hidrometeoro lógicos y modelos integrados que utilizan el cambio temporal de cobertura vegetal y los modelos de valoración de servicios eco sistémicos para analizar los efectos de cobertura vegetal frente al cambio climático en dos servicios eco sistémicos representativos.

Ahora bien, es necesario hacer referencia de una vista más local, como es el caso del Páramo de Rabanal ubicado en el municipio de Samacá Boyacá, según Parra Ortega, (s.f.) es de suma importancia la conservación de tres tipos de cobertura vegetal dentro de dicho páramo, los cuales son herbazal, arbustal y bosque; uno de los estudios realizados dentro del páramo rabanal es por medio de análisis multitemporal teniendo en cuenta la relación con la minería. Así mismo Pineda Martínez, (2019) asegura que la pérdida de vegetación es directamente proporcional al aumento que se presenta en la minería cercana al páramo; es posible que la inmersión de la minería sea la que esté generando afectaciones o impactos negativos en la vegetación.

De igual modo es necesario comprender que los SIG, son herramientas que en la actualidad han ayudado a resolver problemas sociales y ambientales en el territorio. Estas herramientas, permiten investigar cambios, en movimientos de agua ITICHA & TAKELE, CHALSISSA, (2019), hasta posibles desbordamientos, con datos históricos de precipitación, identificando posibles zonas de inundación. Si se resume, en este caso, generan ayudas para las construcciones de planes de manejo de riesgo eficientes, en pro de la sociedad, logrando evitar catástrofes futuras. Una zona que cuenta con disminución de cobertura, genera suelos desnudos, esto podría generar en algunos años

problemas de erosión en los suelos Cakir, Sivrikaya, Terzioglu, Keles, & Baskent, (2007), por ende, presentando deslizamientos futuros, causando movimientos de masa, generando problemas a comunidades cercanas.

Se pueden realizar investigaciones de los cambios que han sucedido en el territorio en el pasado, también lo que se ha extinto, lo que se ha perdido, de igual modo también se puede realizar el pronóstico y proyecciones sobre el mismo, ya que, con la creación de modelos se puede realizar presagios, de los posibles cambios que se puedan presentar en un futuro. Algunas de las variables ambientales que se pueden proyectar a un mediano plazo son la remoción de masa, precipitaciones, cambios de caudales (máximos, medios y mínimos en diferentes tiempos de retorno), cambios climáticos, subidas de temperatura, pérdidas de glaciares (Dixon & Uddmeri, 2016).

Un caso es el de Gulersoy & Celik, (2017), buscaban evaluar cambios multitemporales en el cambio del uso de suelo en una cuenca. Estos estudios, se realizan para evaluar en qué condiciones se encontraba un terreno y cómo se encuentra en la actualidad. Este tipo de estudios se realizan, para evaluar cómo ha cambiado el comportamiento del territorio a lo largo del tiempo, y con estos antecedentes, realizar una toma de decisiones en el momento, de manera correcta y eficiente. Estos tipos de estudios en análisis de coberturas Marchal, Cumming, & McIntire, (2017), puede usarse para determinar disminución de coberturas o cambio de especies en un área determinada. Esto permitirá determinar si estas disminuciones son causadas por deforestaciones, o si existen especies vegetativas invasoras. En estos casos permitirán que las entidades competentes busquen medidas de mitigación o de conservación según sea el caso. Estas imágenes ayudan a agilizar estudios, puesto que, si este tipo de herramientas no existieran, tendrían que realizarse estudios en campo, y de igual modo tendrían que realizarse permanentemente para evaluar cambios. Una buena forma de visualizar los resultados de manera más fácil es con el uso de los sistemas de información geográfica, de igual forma aliviando costos para el Estado, tomando decisiones a tiempo, como es el caso de POT.

Otro caso donde se usan este tipo de estudios con el SIG, es para realizar predicciones o proyecciones. Esta es una de las mayores funcionalidades de este tipo de estudios; como mencionaba Clerici, Cote Navarro, Escobedo, Rubiano, & Villegas, (2019), las deforestaciones y los cambios climáticos, también son estudiados por este tipo de herramientas.

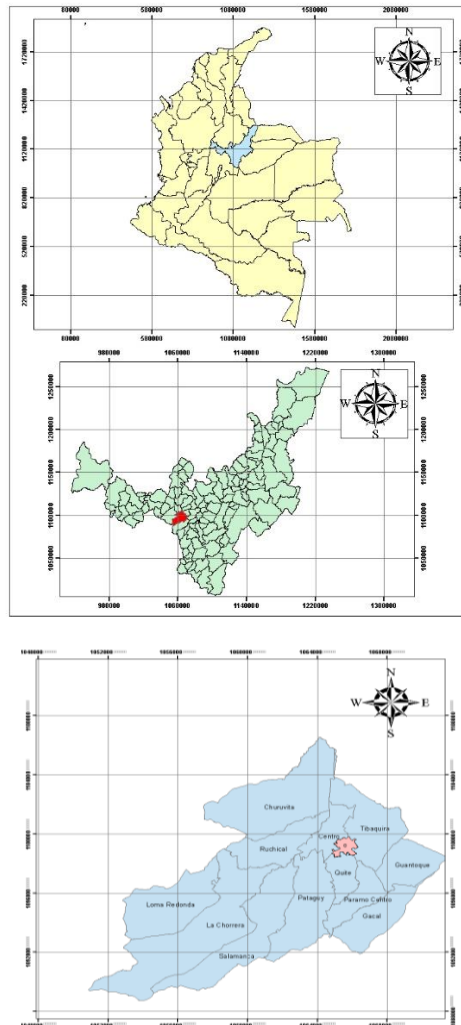
Los SIG, son instrumentos que, usándose de forma correcta, pueden cambiar el ordenamiento de un territorio, mitigando a tiempo posibles riesgos, brindando bienestar y tranquilidad a comunidades cercanas, especies vegetales y animales, que puedan verse afectadas.

6. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló por medio de fases, en donde se tuvieron en cuenta diferentes recursos como se evidencia a continuación:

- **FASE 1: DELIMITACIÓN DEL ÁREA:** El municipio de Samacá pertenece a la provincia centro del Departamento de Boyacá; el área de estudio limita en el norte con Cucaita, al sur con Ventaquemada, al este con Tunja y al Oeste con Ráquira; dentro del municipio se presentan diferentes problemáticas ambientales en torno a las actividades socioeconómicas, como lo son actividades mineras, actividades agrícolas, entre otras.

Ilustración 7 Delimitación Samacá



Fuente: Autoras

- **FASE 2: IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA:** Reconocimiento de la problemática, por medio de visita en campo, teniendo en cuenta la visualización de diferentes actividades socioeconómicas, dando como apertura la generación de los objetivos

Ilustración 8 Agricultura Samacá



Fuente: Autoras

Ilustración 9 Sistema de Riego



Fuente: Autoras

Ilustración 10 Industria minera



Fuente: Autoras

- **FASE 3: ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN:** Se tuvieron en cuenta diferentes fuentes de información como la página web Servicio Geológico de los estados Unidos (USGS) para la adquisición de imágenes satelitales correspondiente a los años 1998, 2001, 2007, 2010, 2016 y 2020; de igual forma se hizo uso de información cartográfica, proveniente de la página web ALASKA SATELLITE FACILITY, cartografía libre, el esquema de ordenamiento territorial (EOT) municipal y el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCA) del medio y bajo Suárez y Río Garagoa.
- **FASE 4: PROCESAMIENTO DE DATOS:**
 - Con las imágenes satelitales correspondientes a los años 1998, 2001, 2007, 2010 y 2016, se realizó la respectiva corrección Geométrica, por bandeo, radiométrica, atmosférica y topográfica; y posterior a esto, se realizó un análisis geo-espacial, que logró una proyección para los años 2034 y 2020; en cuanto la calibración se tuvo en cuenta una imagen del 2016 y una del 1998, con la cual se generó una proyección al año 2034. De igual manera, con una del 2007 y 1998 se generó una proyección al año 2016, con otra imagen descargada del año 2016 y 2007 se tuvo una proyección al año 2025; finalmente con una imagen del 2010 y 2001 se logró una proyección al año 2019
 - Procesamiento Digital de las imágenes por medio del software ArcGis, donde se determinó información de coberturas y se adaptó a la metodología Corine Land Cover, teniendo en cuenta una escala de 1:25.000 con el fin de poder identificar de manera clara las coberturas vegetales.
 - Comparación de coberturas vegetales con relación al POMCA de la cuenca medio y bajo Suárez y el POMCA del río Garagoa
 - Con las imágenes satelitales correspondientes a los años 1998, 2001, 2007, 2010 y 2016, donde se usó una imagen del 2007 y una del 1998 para la proyección al año 2016 y se validó bajo la herramienta MOLUSCE que se encuentra en software Qgis, de igual manera con una del 2016 y 1998 se obtuvo una proyección al año 2034.
 - Teniendo en cuenta la proyección generada a partir a las imágenes del año del 2007 y 1998, dando como resultado el año 2016, se realizó una calibración del modelo; a partir de esta imagen y otra obtenida del servicio geológico de estados unidos, se realizó la comparación por medio del software Qgis, el cual cuenta con

un índice kappa que se considera un modelo matemático, con el fin de mejorar las predicciones y proyecciones hacia el futuro, este índice arroja un porcentaje de similitud dentro de las 2 imágenes, si es más cercano a 100%, mayor veracidad tendrá el modelo.

- Teniendo en cuenta la identificación de cambios de cobertura vegetal, se realizó una comparación con los datos monitoreados por el proyecto plataforma comunitaria, la cual nos proporciona datos de calidad de agua.
- Comparación de calidad del agua con relación al POMCA de la cuenca medio y bajo Suárez y el POMCA del río Garagoa

● FASE 5: ANÁLISIS Y RESULTADOS

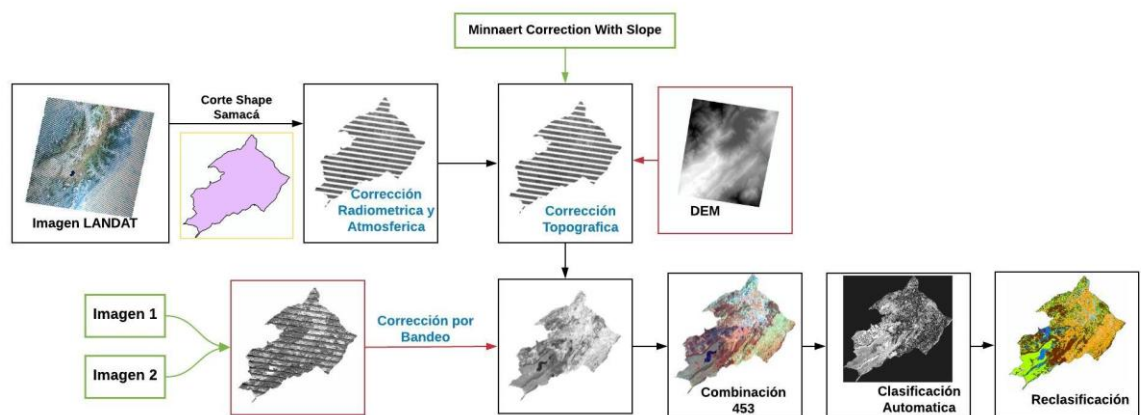
A partir de las proyecciones generadas se pudo identificar la información de coberturas con el fin de analizar cuáles fueron los cambios a través del tiempo y que tipo de actividad socioeconómica está generando mayor afectación al ambiente. De igual manera, se podrá analizar qué tan viable es la realización de proyecciones futuras a partir del Software Qgis, bajo la índice kappa; por medio de visita de campo corroborar la información obtenida por el software para el año 2020.

7. DESARROLLO CENTRAL

7.1. CAPÍTULO 1: PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Dentro del procesamiento de las imágenes, se tuvo en cuenta la corrección radiométrica-atmosférica, topográfica y de bandeo; a partir de esto se implementó la metodología Corine Land Cover, con la cual fue necesario realizar combinaciones dentro de las bandas de cada imagen, para así, poder realizar la clasificación automática y poder reclasificarla según lo expuesto en la metodología.

Ilustración 11 Procesamiento de imágenes



Fuente: Autoras

7.1.1. Corrección de Imágenes Landsat

Teniendo en cuenta las imágenes de los años 1998, 2001, 2007, 2010, 2016 y 2020 se realizaron las respectivas correcciones, en la **Tabla 10** se puede evidenciar las tres correcciones aplicadas para el año 2007

Tabla 10 Corrección de imágenes landsat

ATMOSFÉRICA Y RADIOMÉTRICA	TOPOGRÁFICA	BANDEADO
		

Fuente: Autoras

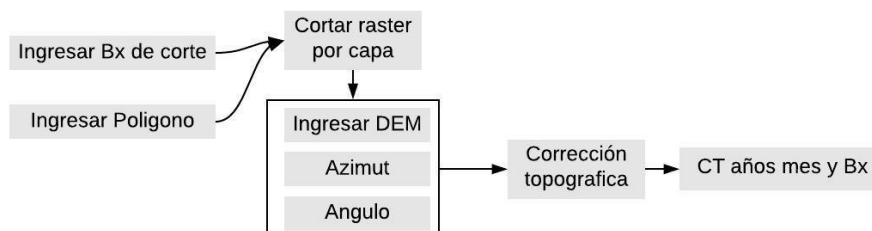
7.1.1.1. Corrección atmosférica y radiométrica

La corrección atmosférica se encarga de eliminar distorsiones de la atmósfera y la corrección radiométrica de corregir las condiciones atmosféricas y de iluminación de la imagen; esto se realizó con el software Qgis y el complemento Semi-Automatic Classification Plugin, el cual en su herramienta de procesamiento landsat brinda la opción de Aplicar la corrección atmosférica con todas las bandas de la imagen; este proceso fue aplicado para las imágenes de todos los años, 1998, 2001, 2007, 2010, 2016 y 2020, con el fin de brindar una mejor calidad a las imágenes.

7.1.1.2. Corrección topográfica

Permite equilibrar las diferencias de iluminación solar y todas las variaciones altitudinales del terreno, este proceso se realizó en el software Qgis, generando un modelo para aplicar a cada una de las imágenes, en el cual los datos de entrada son: Las bandas a corregir, El Azimut y El Ángulo

Ilustración 12 Modelo de corrección topográfica



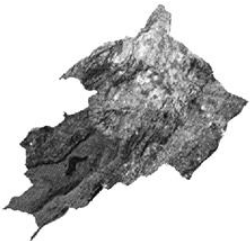
Fuente: Autoras

Para esta corrección se utiliza la imagen previamente corregida en el anterior paso, y es necesario del uso del modelo digital de elevación DEM, el cual se adquiere en la USGS y de igual forma contar con el archivo en formato TXT - MTL de cada una de las imágenes,

el cual brinda información sobre cada una de sus bandas, para este caso es necesario conocer el Azimut y el Ángulo

Las imágenes se procesan en el módulo topographic correction la cual emplea diferentes metodologías, como se muestra a continuación; se realizó la comparación de cada una de ellas dando como mejor resultado la Minnaert Correction With Slope (Law & Nichol 2004)

Tabla 11 Metodologías para corrección topográfica

Sin corrección topográfica	Cosine Correction (Civco 1989)	Minnaert Correction	Minnaert Correction with slope (Riano et al. 2003)
			
Normalization (after Civco, modified by Law & Nichol)	<u>Minnaert Correction With Slope (Law & Nichol 2004)</u>	C Correction	Cosine Correction (Teillet et al, 1982)
			

Fuente: Autoras

Al aplicar las metodologías dispuestas para la corrección topográfica la Minnaert Correction With Slope (Law & Nichol 2004), resultó ser la que brinda mejor visualización de las sombras en la zona de estudio; ya que, se puede evidenciar que disminuye el relieve con el que cuenta la imagen y mantiene un buen comportamiento espectral, esto se debe a que se reduce la influencia de la iluminación en la imagen y es importante tener en cuenta, las sombras que genera cada pendiente, esta metodología hace que la combinación con la geometría del sol se elimine por completo, lo que quiere decir que al presentarse menor pendiente, menor será la variabilidad espectral dentro de la cobertura que se encuentre dentro de la imagen; es por esto que en la imagen se puede evidenciar que cuenta con una tonalidad clara y es más uniforme toda la imagen, lo que quiere decir

que se aplica correctamente la corrección topográfica, bajo esta metodología Minnaert Correction With Slope (Law & Nichol 2004).

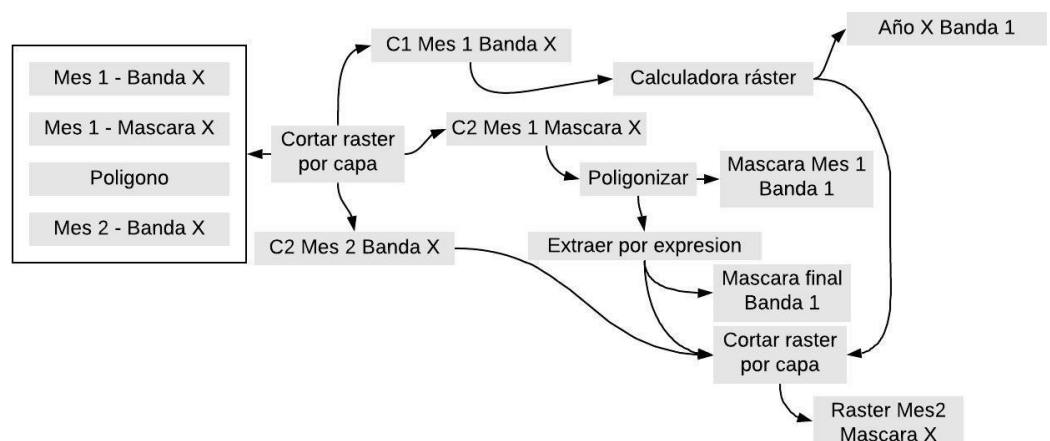
Con el fin de disminuir las sombras generadas por las elevaciones con las que cuentan las imágenes Landsat, claramente con sólo este parámetro podemos notar que es la metodología que brinda mejor corrección en temas topográficos; no se evidencia factible el uso de la metodología Cosine Correction (Civco 1989), Cosine Correction (Teillet et al, 1982), C Correction y Normalization (after Civco, modified by Law & Nichol) para la corrección topográfica en esta zona de estudio debido a la variación de pendientes ya que son aproximadamente de 70%, se evidencia que en este tipo de imágenes se genera una corrección pero con relación a las sombras generadas, es por tal razón que la tonalidad de la imagen es oscura y de manera uniforme, lo cual no es recomendable, ya que al realizar combinación de bandas, las imágenes pueden perder características dentro de cada pixel, generando errores en el trabajo a realizar.

7.1.1.3. Corrección por bandeo:

Paso1: Las imágenes, por lo general Landsat 7, cuentan con ausencia de información y con una ligera inclinación hacia los laterales lo que genera franjas o líneas paralelas entre sí, para esta corrección fue necesario el uso del software Qgis específicamente en lo concerniente en el uso de un modelo el cual usará información que proporciona la USGS bajo la carpeta gap_mask que está adjunta a la imagen. Es importante la obtención de dos imágenes del mismo año y de ser posible del mismo mes para poder hacer la interpolación entre las dos imágenes y reducir el problema de bandeo.

En este orden de ideas se usarán los datos de entrada: Imagen 1, Banda X (1,2,3,4,5,6,7); Imagen 2, Banda X (1,2,3,4,5,6,7) y el polígono del Shape de Samacá. A partir de esto se genera la corrección de la imagen 1 para cada una de sus bandas, el raster de la imagen 2 para cada una de las máscaras (gap_mask) y finalmente se genera la suma de estos dos productos.

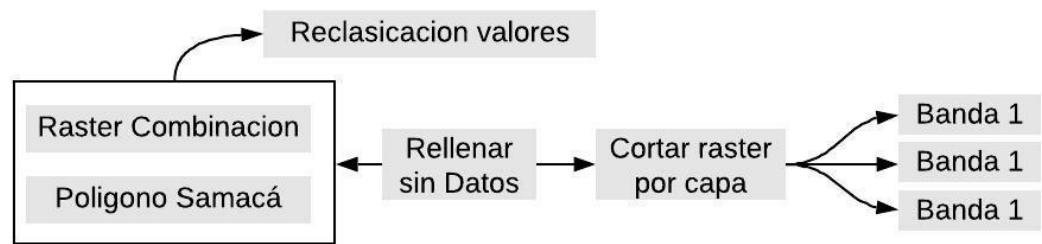
Ilustración 13 Modelo de corrección por bandeo paso 1



Fuente: Autoras

Paso 2: Teniendo en cuenta el producto generado en el paso 1, se genera la corrección bajo las dos imágenes, pero es necesario completar una serie de datos dentro de la imagen para que la corrección termine de la manera correcta, para esto se realiza un modelo en el cual se ingresó la imagen corregida anteriormente y se generarán 3 archivos, de las correspondientes bandas, a los cuales se les aplicó la herramienta Combinar.

Ilustración 14 Modelo de corrección por bandeo paso 2



Fuente: Autoras

Tabla 12 Comparación corrección por bandeo

Sin corrección	Paso 1	Paso 2
		

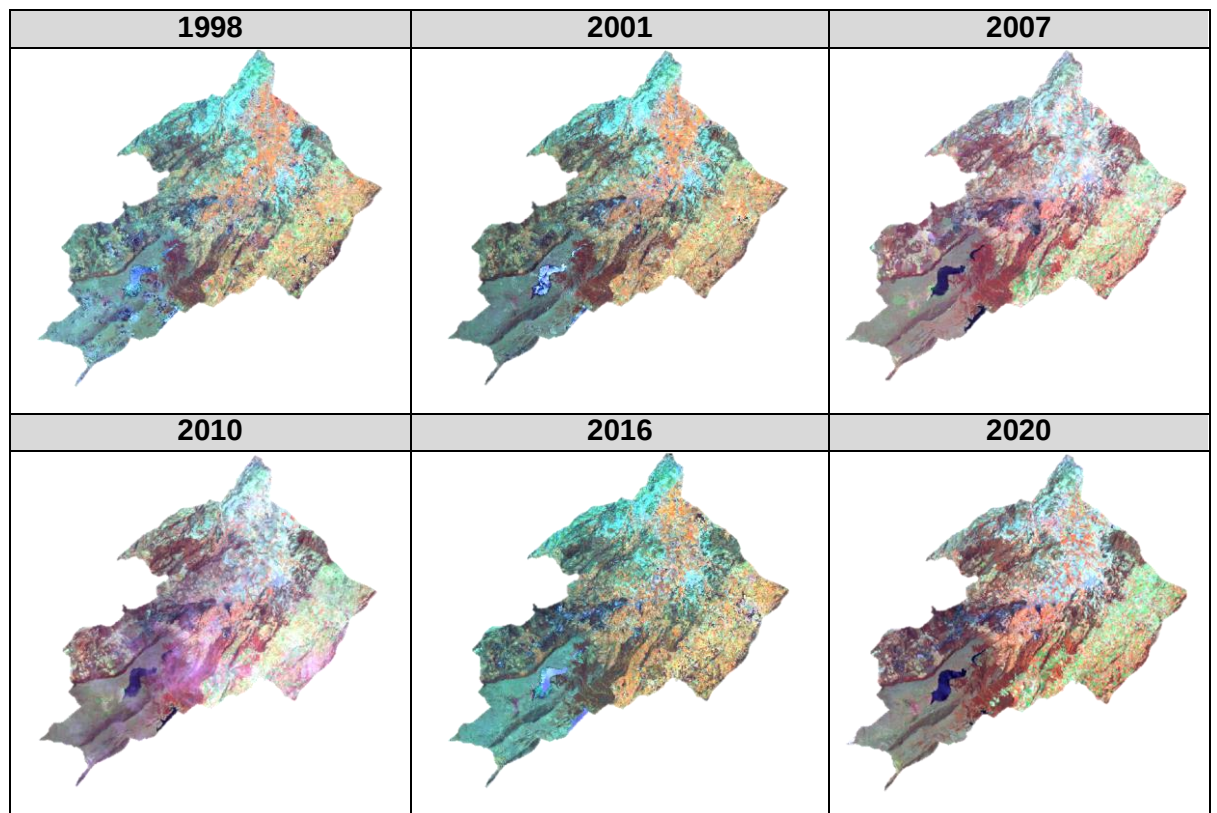
Fuente: Autoras

7.1.2. Combinación de Bandas

Para la implementación de la metodología Corine Land Cover es necesario la realización de combinación de bandas; para este proceso es necesario el uso del complemento Semi-Automatic Classification Plugin con la herramienta juego de bandas, para la cual hay que tener en cuenta el catálogo landsat para cada uno de los años; en este caso la metodología Corine Land Cover especifica que la combinación de las bandas debe ser 453 para cada una de ellas. Esta combinación de bandas la dicta el Catálogo de coberturas de tierras ofrecido por el IGAC, donde permite evidenciar el tipo de cobertura que se desea analizar. De igual modo esta combinación se da por la longitud micrométrica que tiene cada una, con el fin de obtener un espectro visual mucho más amplio.

Tabla 13 Combinación de bandas 453

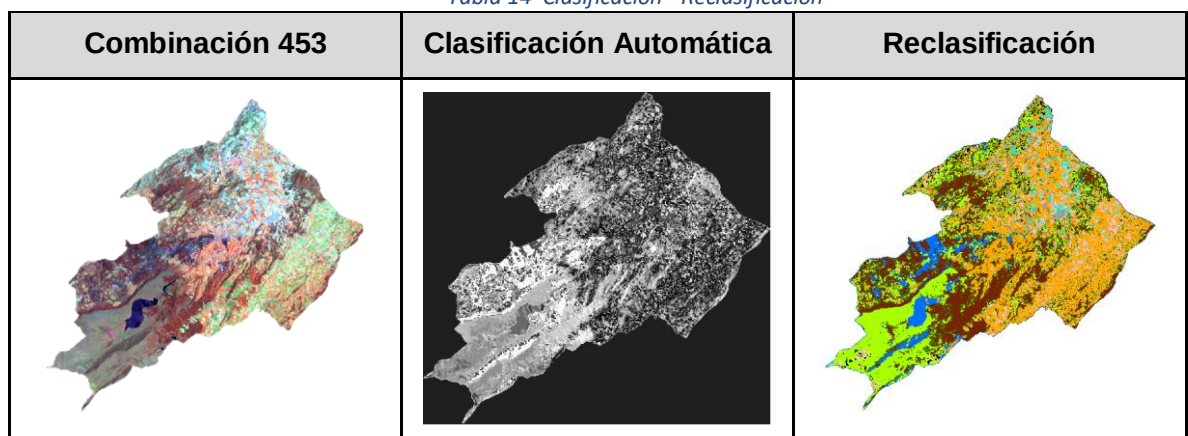
Combinación 453



Fuente: Autoras

Teniendo en cuenta la combinación de bandas, se realizó una clasificación automática por medio del software ArcGis como se puede evidenciar en la *Tabla 13*, en la cual se hizo uso de las herramientas Iso Cluster Unsupervised Classification presentes en ArcToolbox, la cual brinda una clasificación donde se controlan mejor los parámetros.

Tabla 14 Clasificación - Reclasificación



Fuente: Autoras

Conforme a lo anterior, se realizó una reclasificación de los parámetros según la metodología Corine Land Cover bajo el catálogo de cobertura de tierras, en el cual se evidencian patrones presentes en el territorio colombiano.

7.1.3. Predicciones De Imágenes

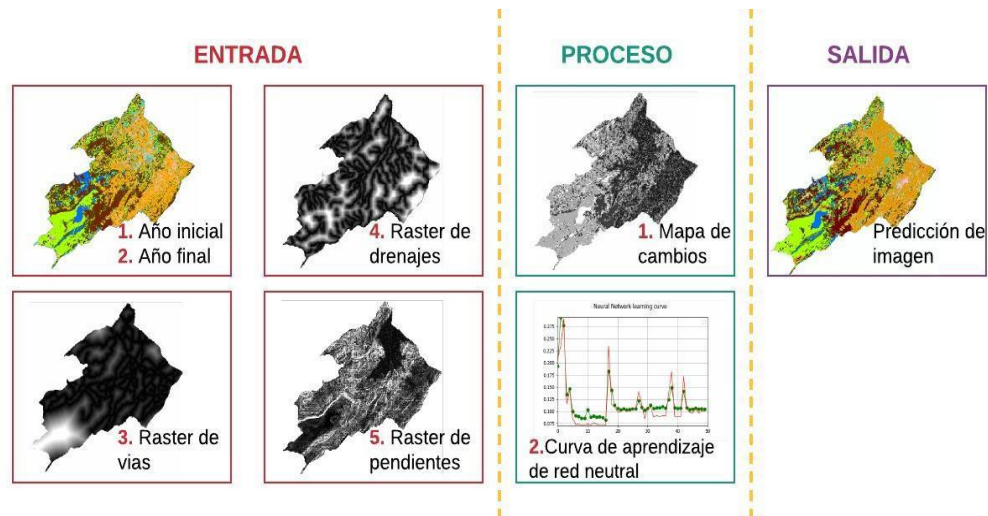
Con ayuda de la herramienta Molusce en el software Qgis se realizaron las respectivas predicciones, bajo la siguiente fórmula

$$\text{Predicción} = (\text{Año final} - \text{Año inicial}) - \text{Año final}$$

Año final = Año más reciente

Año inicial = Año más antiguo

Ilustración 15 Predicción de imágenes



Fuente: Autoras

Para el uso de la herramienta se tuvieron en cuenta diferentes variables como: drenajes, vías y pendientes; a través de esto se generaron cambios de área para cada cobertura o cada predicción generada, en donde se evidenció el porcentaje de cambio en cada una de las coberturas y el mapa de cambios. Se establece un vecindario de 1 píxel, una tasa de aprendizaje de 0,1, iteraciones máximas de 1000, para así obtener la curva de aprendizaje de red neural; es así como se calibra el modelo y se genera el mapa con la predicción.

7.1.4. Validación

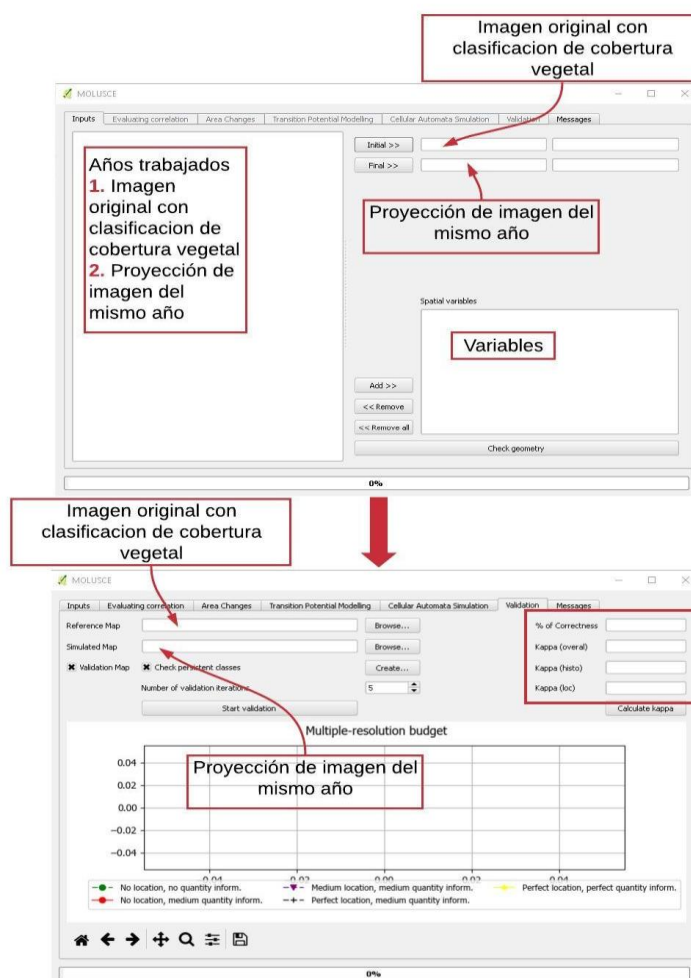
Dentro de este proceso se tiene en cuenta la imagen del 2016 Y 2020 clasificada según la metodología Corine Land Cover y las proyecciones generadas respectivamente; en este proceso se conoce el % de confiabilidad y el índice kappa, el cual maneja los siguientes rangos:

Tabla 15 Fuerza de concordancia, para la implementación de predicciones

Valor del índice Kappa	Fuerza de concordancia
<0,20	Pobre
0,21 - 0,40	Débil
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Buena
0,81 - 1,00	Muy buena

Fuente: López y Fernández (1999)

Ilustración 16 Procesamiento de validación



Fuente: Autoras

7.2. CAPÍTULO 2: DELIMITACIÓN Y PREDICCIÓN DE COBERTURAS VEGETALES

Las delimitaciones de coberturas vegetales se tuvieron en cuenta con el catálogo de cobertura de tierras, bajo la metodología Corine Land Cover dentro de las cuales según la leyenda se pudieron identificar:

- Zonas Urbanizadas; Zona de extracción minera y escombrera; Cultivos transitorios; Cultivos permanentes; Pastos; Bosque; Área con vegetación herbácea y/o arbustiva; Áreas abiertas, sin o con poca vegetación; Aguas/ Áreas húmedas continentales.

Tabla 16 Clasificación Corine land cover

CORINE LAND COVER		
AÑO 1998	AÑO 2000	AÑO 2007
		
AÑO 2010	AÑO 2016	AÑO 2020
		

Fuente: Autoras

Al realizar el procesamiento de las imágenes por medio de la metodología Corine Land Cover, se generaron seis mapas, de acuerdo a los años previamente explicados. Las imágenes se clasificaron en el Nivel 2 de la metodología, esto con el fin de lograr una interpretación más detallada de las coberturas presentes en el municipio de Samacá. Dentro de las coberturas que se encontraron dentro del área de estudio son: Zonas

Urbanizadas, Zonas de extracción minera y escombreras, Cultivos Transitorios, Cultivos permanentes, Pastos, Bosques, áreas con vegetación herbacea y/o Arbustiva, Área abierta sin o con poca vegetación, Aguas/área humeda continentales. Cabe resaltar que todas las coberturas presentes tienen un nivel protagónico dentro del municipio, donde resalta una posible ejecución de actividades socioeconómicas dentro del municipio como se evidencia a continuación:

Tabla 17 Análisis general de coberturas vegetales

	Zonas Urbanizadas
	En esta zona se caracteriza por un área comercial y residencial, puesto que en esta área se encuentra el casco urbano del municipio.
	Zonas de extracción minera y escombreras
	La zona de extracción minera, se refiere a la explotación de carbón que presenta algunas zonas dentro del municipio. Cabe resaltar que Samacá es uno de los municipios que genera mayores porcentajes de extracción dentro del Departamento.
	Cultivos Transitorios
	En Samacá los cultivos transitorios más representativos son la papa (<i>Solanum tuberosum</i>), la cebolla (<i>Allium fistulosum</i>) y Trigo (<i>Triticum</i>). Estos cultivos son los que siempre son sembrados en determinado terreno, pero no en la totalidad del año, puesto que en la primera cosecha puede ser papa y en el siguiente trigo. Cabe resaltar que dentro de las imágenes se encontró mayor porcentaje de cultivo de papa. Esta zona se puede denominar como Agrícola.
	Cultivos permanentes
	Dentro de los cultivos permanentes que se encuentran en el municipio se caracteriza por presentar extensiones de pino. Dentro de las actividades económicas, está la explotación de pino con fines de comercialización maderable. En el Páramo de Rabanal, se encuentra una de las mayores extensiones de pino cultivado, llegando a la actualidad a tener más de 3200 Ha, dentro de toda la extensión del municipio.
	Pastos
	Dentro de los Pastos es muy característico el <i>Cynodon dactylon</i> . Cuando se hace referencia a términos socioeconómicos, se puede inferir que gran porcentaje de estos pastos, son usados con fines agropecuarios. En Samacá, se caracteriza por tener criaderos bovinos, avicultura, porcicultura y la cría equina.
	Bosques
	Esta clasificación hace referencia a los Bosques nativos, o mejor conocido como bosque alto andino, que es muy conocido en este tipo de zonas. En esta zona no presenta algún tipo de actividad socioeconómica, pero sí alta afectación por tala indiscriminada, con el fin de convertirse en combustible para las estufas de la población.
	Áreas con vegetación herbacea y/o Arbustiva
	Esta zona en Samacá es de suma importancia, puesto que se encuentra la <i>Espeletia grandiflora</i> , más conocida como el frailejón, y como bien se conoce, esta especie es generadora de agua y habita en uno de los ecosistemas más importantes del territorio nacional, como lo es el Páramo. De igual modo también se encuentran especies como <i>Barstia</i> sp. <i>Carex</i> sp. <i>Castilleja fissifolia</i> . <i>Lachemilla mutissi</i> , <i>Paepalanthus karstenii</i> . el estrato rasante frecuente musgos y líquenes como: <i>Polytrichum juniperinum</i> . Dentro de vegetación propia del páramo que se puede encontrar sobre pequeñas colinas se puede evidenciar especies de gramíneas como lo son <i>Calamagrostis efusa</i> , <i>Festuca</i> sp. <i>Paspalum</i> sp, <i>Agrostis</i> sp. y

arbustos de Chusquea sp. Baccharis sp. Buquectia sp. Gynoxis sp, Senecio sp. Pentacalea sp. y Dyplostephyum sp

Área abierta sin o con poca vegetación

Estas son zonas, que no evidencian vegetación significativa, ya sea porque se presenta en zonas con alto grado de elevación, o porque se ha perdido de forma antropica. En la revisión de las coberturas se muestra en pequeñas este tipo de coberturas, pero se deduce que estas son producidas por sobreexplotación de la tierra, generando suelos infértiles, erosionados y con una baja posibilidad de remediación. Aunque el municipio no registra en la actualidad alta extensión por estas zonas, si no se hace un manejo adecuado de el suelo, es posible que en algunos años, lo que hoy se conoce como pastos o áreas de gran altura donde hay bosque denso y algunos cultivos permanentes, se convierta en áreas desnudas.

Aguas/Área húmeda continentales

En este tipo de coberturas, se analizaron los cuerpos de agua tanto lenticos como algunos loticos representativos. De igual modo dentro de esta categoría se encuentran zonas con alta concentración de agua, como lo son los pantanos. De igual modo la metodología también relaciona los canales, puesto que dentro del municipio se encuentra un distrito de riego, que brinda agua a gran parte de los cultivos de la región.

Fuente: Autoras

Para la identificación de cambios de cobertura vegetales se identificaron los porcentajes de cambio de cada una de las áreas de estudio, para todos los años, arrojando los siguientes resultados.

Tabla 18 Hectáreas de cambio de cobertura vegetal 1998 de 2020

COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	Hectáreas de Cambio de Cobertura (Ha)					
		1998	2000	2007	2010	2016	2020
	Zonas Urbanizadas	26,3	16,2	379,5	348,0	240,4	334,0
	Zonas de extracción minera y escombreras	333,3	357,6	410,8	372,3	490,4	473,0
	Cultivos Transitorios	4391,9	4165,9	4378,1	5116,5	4895,6	4684,0
	Cultivos permanentes	1907,2	1203,6	2062,5	2649,5	2361,7	3285,2
	Pastos	1166,8	2075,2	1403,9	999,1	1503,2	1266,5
	Bosques	1821,7	2833,0	2543,9	1780,8	1998,8	2276,4
	Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva	5714,7	5276,0	5032,3	4701,3	4118,3	3682,3
	Área abierta sin o con poca vegetación	0,2	0,1	0,4	135,5	330,8	383,0
	Aguas/Área húmeda continentales	1896,9	1332,2	1039,2	1151,0	1314,7	869,0

Fuente: Autoras

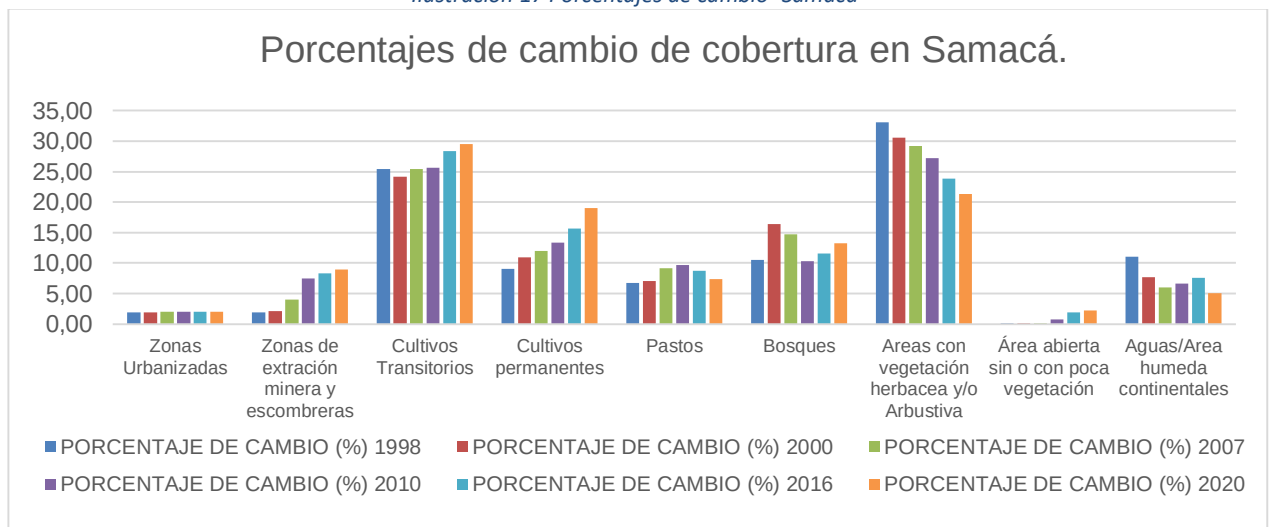
Tabla 19 Porcentajes de cambio de cobertura vegetal año 1998 al 2020

COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PORCENTAJE DE CAMBIO (%)					
		1998	2000	2007	2010	2016	2020
	Zonas Urbanizadas	1.89	1.90	1.96	1.98	1.98	1.96

Z. extracción minera y escombreras	1.93	2.07	2.38	2.16	2.84	2.74
Cultivos Transitorios	25.45	24.14	25.37	25.65	28.37	29.56
Cultivos permanentes	9.06	10.98	11.95	13.35	15.69	19.04
Pastos	6.76	7.03	9.14	9.69	8.71	7.34
Bosques	10.56	16.42	14.74	10.32	11.58	13.19
Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva	33.12	30.58	29.16	27.25	23.87	21.34
Área abierta sin o con poca vegetación	0.00	0.00	0.00	0.79	1.92	2.22
Aguas/Área húmeda continentales	10.99	7.72	6.02	6.67	7.62	5.04

Fuente: Autoras

Ilustración 17 Porcentajes de cambio- Samacá



Fuente: Autoras

Los porcentajes obtenidos fueron relacionados con el área total de Samacá, adquirida con el shapefile del municipio y el número de píxeles de cada zona. El área del municipio tiene una extensión total de 17255 Hectáreas, y una dimensión de cada píxel de 0,089 Hectáreas. En la gráfica de barras, se muestra de forma esquemática como se ha comportado el porcentaje en cada una de las zonas.

Dentro de las **Zonas Urbanas**, se evidencia una constancia dentro del transcurso de los años, mostrando un cambio desde 1998 hasta 2020 de un 0,07%. Este incremento se ve reflejado en la construcción de nuevas urbanizaciones dentro del casco municipal, aunque se muestre, no refleja gran preocupación por la ampliación, puesto que no amenaza con la extinción de alguna cobertura cercana. De igual modo, Samacá es catalogado como un municipio más de tipo minero y agrícola, que residencial o vacacional.

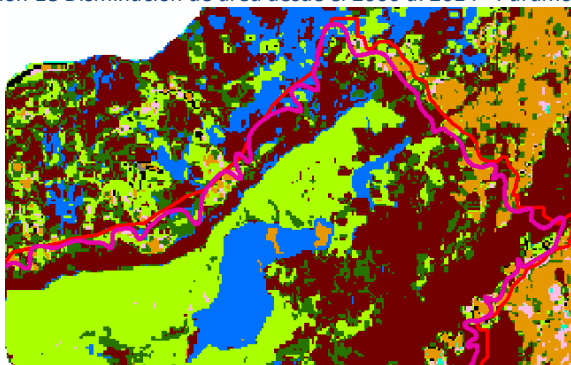
Samacá en los últimos años ha tomado gran auge en su entorno minero, puesto que, al analizar la **Zona de extracción minera**, se evidencia un aumento paulatino desde el año 1998 hasta el año actual, puesto que demuestra una crecida porcentual hasta casi el 8%. Aunque ese valor no suena alarmante, lo es, puesto que ese valor representa aproximadamente el incremento de 2640 Hectáreas. Esta zona ha aumentado con el tiempo, al encontrar el buen porcentaje calorífico del carbón. Otros factores han hecho que este valor se haya incrementado, un factor que se encontró es la flexibilidad en la obtención de títulos mineros, y el incremento de la minería ilegal a pequeña escala, esta última está relacionada a las minas familiares, aunque estas no son tan representativas en cuanto a ganancia económica, si lo son en el daño eco sistémico dentro del municipio.

El consejo comunal de gobierno en 2009, evidenció los valores de regalías que ha mostrado el municipio de Samacá desde el año 2004. Encontrando un aumento del 400% del año 2004 al 2007, alcanzando al valor de \$444.465. 873. Estos datos sirven de soporte al comparar el pico que presentó ese año en el aumento de extensión, doblando el área del primer año de referencia 1998. Cabe resaltar que el municipio de Samacá, ha mostrado en los últimos años, los mayores índices de regalías a nivel departamental, esto traduciéndose a las grandes toneladas anuales que extrae este municipio. Por otra parte, Samacá pertenece al distrito minero ZIPA, donde junto al municipio de Ráquira aprovecharon su cercanía con Cundinamarca, se asociaron y tienen una venta más amplia para comercializar y exportar carbón. Esta posibilidad de venta rápida y efectiva, ha hecho que muchos habitantes de Samacá, le aporten a esta actividad económica, como una forma para su sustento diario.

En cuanto a los **Cultivos Transitorios**, presenta de igual modo un aumento significativo desde el año 1998, arrojando un 4,1% de cambio con respecto al 2020. Este porcentaje, evidencia un cambio cercano del 1300 Hectáreas. Samacá, históricamente se ha conocido por ser un municipio agrícola, productor de tubérculos y hortalizas, productos que se encontraron en su mayoría al realizar la identificación de coberturas con la metodología de Corine Land Cover. Con la extensión que presente este tipo de cultivos, se puede inferir que la agricultura es una de las principales actividades económicas del sector, alcanzando un 45% de la totalidad de actividades dentro del municipio.

En este municipio se puede inferir que la Agricultura es una de las principales causas de deforestación, puesto que si observa el mapa de cambio de cobertura vegetal en el año 2020 (Ver Anexo 1), se identifica claramente una transición de vegetación herbácea hacia cultivo transitorio. Este fenómeno, aunque es representativo en todo el municipio, es mucho más notorio hacia la parte del Páramo de Rabanal. En la imagen siguiente se observa como ha sido la disminución de área desde el año 2006, hasta el año 2014; en esta se observa que el cambio ha sido netamente de cultivo transitorio.

Ilustración 18 Disminución de área desde el 2006 al 2014 - Paramo Rabanal



Fuente: Autoras

Lo anterior se conoce como ampliación de frontera agrícola en el Páramo. Dentro de lo identificación de visual, se pudo encontrar que este fenómeno es muy fuerte, debido a las condiciones geograficas de la zona, puesto que al encontrarse en la altura sobre el nivel del mar tan alta, hace que el suelo tenga mayor cantidad de nutrientes, logrando que la cosecha sea mas lucrativa.

Por otro lado, se identificó un suceso representativo dentro del municipio, y es el conflicto de suelos que resulta entre la minería y la agricultura. Este conflicto se evidencia, puesto que en algunas zonas el EOT, establece su condición de uso. El dilema se establece, puesto que en algunas zonas mineras se ejerce actividad agraria, y de igual modo hace que algunas áreas agrarias se ejerza actividad minera. Esto hace que se crea un conflicto de uso de suelos en este municipio, puesto que los habitantes le estan dando un uso no correspondinte, creando la posibilidad de la creación de riesgos para la comunidad. Uno de los principales riesgos que se lograron identificar es por parte de distrito de riego, puesto que el agua para uso agrícola proviene de esta fuente, y si no se usa estrictamente para este fin, sino para uso minero;lo cual desencadela que la descarga residual sea mucho mas contaminante, gerenado afectaciones ambientales severas aguas abajo.

El Ordenamiento Territoria Departamental de Boyacá, del año 2015, menciona que Samacá es uno de los mayores productores de papa, ocupando el cuarto lugar dentro de la provincia centro, produciendo a una mediana escala acerca de 35000 Toneladas anuales de este tuberculo. Esto generando beneficios económicos a mas de 2000 familias de la región. Por tal motivo como se mencionaba antes, este tipo de zonas se proyecta a crecer en los proximos años, porque muchos cultivadores ven en esta actividas una forma de obtener ganancias económicas, sin contar que el municipio cuenta con gran cantidad de beneficios para los agricultures.

Dentro de los **Cultivos Permanentes**, se evidenció un aumento de cobertura del 9,98% al año 2020 con respeto al año inicial de estudio. Esto representa aun aumento de aproximadamente 1600 Hectareas. Aunque esto represente claramente aumento en niveles de reforestación, aumentando la cobertura vegetal del municipio de Samacá. Pero en el interpretación de los mapas de cambio de cobertura vegetal (Ver anexo 1), se muestra que muchas de las zonas boscosas y de vegetacion herbacea, han sido suplantados por este tipo de vegetación. El páramo de rabanal es una muestra clara de

la presencia de cultivos transitorios, puesto que al llegar a la represa Teatinos, centro del páramo, se encuentran grandes hectareas de cultivo de pino, este con el fin de aprovechamiento maderable. El municipio de Samacá es uno de los municipios con mayor aprovechamiento forestal, encabezando la lista en la provincia centro del Departamento de Boyacá.

Ilustración 19 Cultivos permanentes



Fuente: Autoras

En esta zona del municipio de Samacá presenta un grave problema, y es la sobreutilización severa de las tierra, esto se da, por la tala y la siembra continua de especies maderables, esto hace que en muchas zonas se este usando esa actividad económica en áreas donde se debería velar por conservación de vegetación, como es el caso del páramo.

En cuanto a la zona de **Pastos**, se muestra un aumento, pero no muy amplio, pero el porcentaje total dentro del municipio si es bastante elevado. Muestra un aumento del 0,58 % desde el año 1998 hasta el año actual, esta cifra en extensión refleja alrededor de unas 135 Hectáreas. En esta área se puede inferir la presencia de una actividad socioeconómica muy fuerte en la región, siendo esta la que tiene fines pecuarios. En Samacá estas zonas en su mayoría, son usadas para la cría bovina, ovina, caprina y ovinos. Samacá pertenece a la cadena productiva de ganadería y de ovinos y a una menor escala con la avicultura. La ganadería es una de las principales actividades económicas evidenciadas en la zona, puesto que la mayoría de las viviendas rurales tienen sus especies bovinas, estas ya sean para consumo personal, o para venta. Dentro de las visitas se logró evidenciar que los bovinos que se presentaban en la zona eran de raza normando con doble propósito. Datos suministrados evidencian que el municipio, produce alrededor de 5460 L/día de leche para transformación, 15250 L/día de leche doble propósito y 4400 L/día de leche especial.

Esta es una de las zonas que se puede relacionar la presencia de actividades socioeconómicas dentro del municipio, siendo esta una de las que presenta mayor porcentaje. En la interpretación de los mapas, se muestra el cambio de áreas herbáceas principalmente cercanas al paramo, por zonas de pastos. Se proyecta, que, si continúan con deforestación de este tipo de zonas de protección, en unos años los páramos, tendrán mayor cantidad de pastos que de especies propias de este tipo de ecosistemas, generando una afectación irremediable. Este cambio de herbazal a pasto, son producto de fuentes de alimentación para las especies pecuarias, generando que, de esta forma, paulatinamente se genere una disminución de la extensión total del páramo.

Por otro lado, los **Bosques**, son uno de los ecosistemas de mayor importancia, porque guarda gran cantidad de especies de fauna como de flora, y en algunos casos endémicos de la zona. Samacá cuenta en su mayoría con un bosque de tipo alto andino, muy común en este tipo de zonas. Este tipo de bosque se caracteriza por la presencia de musgo *Bryophyta*, en las imágenes siguientes se evidencian fotos de nuestra autoría del bosque alto andino del municipio.

Ilustración 20 Bosque



Fuente: Autoras

Ilustración 21 Bryophyta



Fuente: Autoras

En el presente estudio se evidenció un aumento del 2,65% desde el año 1998 hasta el 2020, representando un aumento de 390 Hectáreas. Aunque años atrás este tipo de zonas eran foco para deforestación, puesto que esta madera era muy usada como materia prima para las estufas de leña de muchas de las viviendas, haciendo que gran parte de este bosque desapareciera, convirtiéndose en lugar para cría pecuaria. En los últimos años, el municipio ha tomado mayor conciencia de la problemática que puede generar este tipo de actos. Tal motivo ha hecho que se hayan creado grandes campañas de reforestación nativa, lo cual ha logrado que gran parte se haya repoblado, pero esto no ha sido la única razón para que esta cobertura aumentara; otra son los procesos de sucesión vegetal, donde la misma naturaleza se ha encargado de repoblar lo que en un momento se pensaría irrecuperable.

Dentro de la visita se identificaron gran cantidad de helechos arbóreos, arrayanes, encenillos, chuzque, mortíños, musgo, entre otros.

Las **áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva**, son una de las áreas que presentó mayor disminución de extensión, mediante el periodo 1998 - 2020. La vegetación herbácea reflejó una disminución de un 11,78%, representando un cambio de cerca de 2500 Hectareas; siendo esta vegetación nativa del páramo, puesto que en esta categoría se encuentran los frailejones, toda aquella vegetación presente en este ecosistema, ya sea paramo o sub paramo. Esta zona está siendo terriblemente degradada por actividades antrópicas con fines socioeconómicos, como se mencionaba en subtemas anteriores, muchas áreas han remplazado zonas herbáceas, convirtiéndose en pastos o cultivos. Aunque si se visualiza desde la perspectiva económica, genera muchos más ingresos internos para el municipio, pero con una alta degradación ambiental. Esto ha causado que habitantes afirmen la pérdida de vegetación silvestre de la zona.

Ilustración 22 Espeletia grandiflora



Fuente: Autoras

Ilustración 23 Flor de espeletia grandiflora



Fuente: Autoras

En **Área abierta sin o con poca vegetación**, muestra aquellas áreas, que, por condiciones geológicas, o por actividades antrópicas, se ha evidenciado una pérdida de vegetación considerable, hasta el punto de mostrar masa rocosa. Estas zonas son difícilmente irremediables, puesto que son lugares totalmente desnudos. Desde el año 1998 presentó un aumento del 2,2%, infiriendo que esta zona en su gran mayoría se debe a sobre explotación de recurso vegetal. En dichos casos se obtienen consecuencias como que los suelos se erosionen, pierdan nutrientes y si se encuentra en zonas altas como es el caso de la zona transición tiene alta posibilidad de deslizamiento. En los primeros años de estudio no se registraron áreas significativas, siendo el resultado nulo, pero después de la ampliación de títulos mineros, y la ampliación de cultivos transitorios, han empezado a encontrarse terrenos con áreas desnudas, ya que es un fenómeno que tiende a aumentar si continua la sobreexplotación de los recursos.

De igual modo, **Aguas/Área húmeda continentales**, en esta zona se refiere a todos esos lugares que tengan presencia de agua, dentro del municipio, donde se resalta, las lagunas, canales o ríos y pantanos, de manera paralela se observa una disminución de 6% desde el año 1998 hasta el 2020, lo cual representa 1100 Hectareas como se evidencia en la *Tabla 18*, en las anteriores categorías, se relacionaba esa área a la presencia de actividades económicas, pero en este caso se puede relacionar más a las consecuencias del mal uso de estas actividades, puesto que han hecho que poco a poco, las fuentes de agua superficiales se estén secando, en especial los pantanos, ya que esta área guarda grandes cantidades de agua en el suelo, y representa una vegetación totalmente diferente.

Se difiere, que otra posible consecuencia de la degradación de estas fuentes de agua es el sector agropecuario, puesto que dichas actividades necesitan grandes cantidades de dicho recurso. Lo anterior ha ocasionado el aumento de captaciones de agua sin permisos otorgados por la Corporación, causando grandes problemas de contaminación ambiental.

7.2.1. Comparación de cobertura vegetal del proyecto actual con el POMCA del Rio medio y bajo Suárez y el POMCA del Rio Garagoa

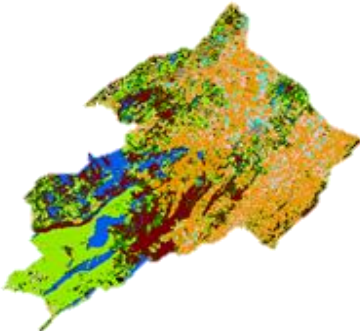
Teniendo en cuenta el POMCA (Plan de ordenación y manejo de la cuenta hidrográfica) del rio medio bajo Suarez; el municipio de Samacá cuenta con un 74% dentro de dicha cuenca, 12446,55 hectáreas; lo cual hace que este documento sea base para la corroboración de la información del actual proyecto; de igual forma el 26% restante hacer parte del POMCA del rio Garagoa.

Bajo la implementación de la metodología Corine land cover se pudieron identificar las coberturas presentes en el municipio de Samacá, para los años 1998, 2000, 2007, 2010, 2016 y 2020; como se evidencia en el análisis anterior, para esto se comparará con la imagen del año 2016, ya que el POMCA del Rio medio y bajo Suárez emplea imagen del año 2015 y el POMCA del Rio Garagoa imagen del 2016.

Tabla 20 Comparación cobertura vegetal por medio de la metodología Corine Land Cover

TABLA 26 Comparación cobertura vegetal por medio de la metodología Corine Land Cover

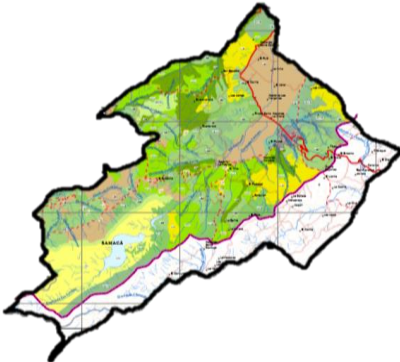
IMPLEMENTACION DE METODOLOGIA CORINE LAND COVER - (2016)- Nivel 2 de la Leyenda de Cobertura de tierras



Leyenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales

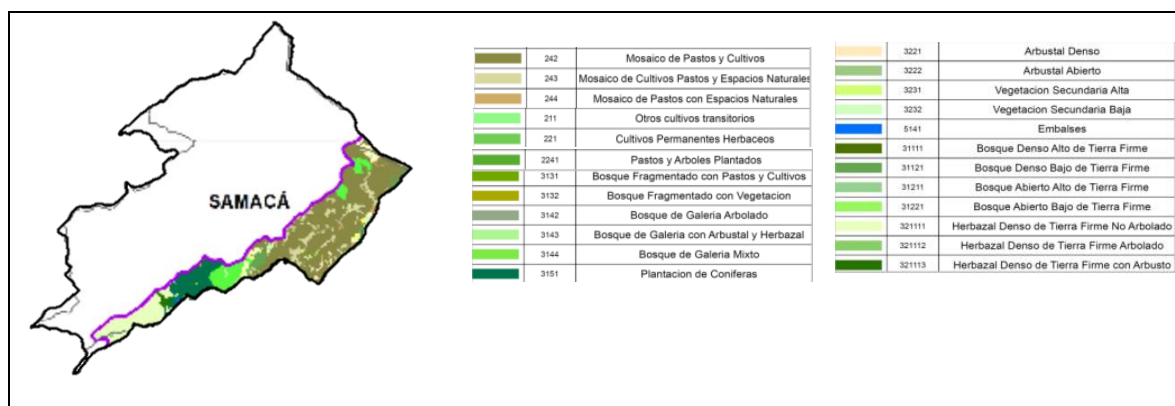
POMCA RIO MEDIO Y BAJO SUAREZ (MUNICIPIO DE SAMACÁ)- (2015)- Nivel 3 de la Leyenda de Cobertura de tierras



Coberturas de la Tierra

111- Tejido urbano continuo	333- Tierras desnudas o degradadas
112- Tejido urbano discontinuo	511- Rios
124- Aeropuertos	512- Lagunas lagos y cienagas naturales
131- Zonas de extraccion minera	1211- Zonas industriales
141- Zonas verdes urbanas	1221- Red vial y territorios asociados
211- Otros cultivos transitorios	3152- Plantacion de latifoliadas
221- Cultivos permanentes herbaceos	3212- Herbazal abierto
222- Cultivos permanentes arbustivos	3221- Arbustal denso
231- Pastos limpios	3222- Arbustal abierto
232- Pastos arbolados	3231- Vegetacion secundaria alta
233- Pastos enmalezados	3232- Vegetacion secundaria baja
241- Mosaico de cultivos	31111- Bosque denso alto de tierra firme
242- Mosaico de pastos y cultivos	31121- Bosque denso bajo de tierra firme
243- Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	31211- Bosque abierto alto de tierra firme
244- Mosaico de pastos con espacios naturales	31221- Bosque abierto bajo de tierra firme
245- Mosaico de cultivos y espacios naturales	321111- Herbazal denso de tierra firme no arbolado
314- Bosque de galería o ripario	321112- Herbazal denso de tierra firme arbolado
331- Zonas arenosas naturales	321113- Herbazal denso de tierra firme con arbustos
332- Afloramientos rocosos	321121- Herbazal denso inundable no arbolado

POMCA RIO GARAGOA (MUNICIPIO DE SAMACÁ)- (2016)- Nivel 3 de la Leyenda de Cobertura de tierras



Fuente: Autoras; POMCA Rio medio y bajo Suárez, POMCA Rio Garagoa

A partir de esta información se puede realizar una comparación de datos con relación a los POMCA como se muestra en la siguiente tabla, teniendo en cuenta una unificación de coberturas al nivel 2, para mejor comprensión.

Tabla 21 Comparación con los POMCA- Coberturas vegetales nivel 2

IMPLEMENTACION DE METODOLOGIA CORINE LAND COVER - (2016)	POMCA RIO MEDIO Y BAJO SUAREZ (MUNICIPIO DE SAMACÁ)- (2015)	POMCA RIO GARAGOA (MUNICIPIO DE SAMACÁ)- (2016)
Zonas Urbanizadas	Zonas Urbanizadas	Zonas Urbanizadas
Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas de extracción minera y escombreras	Zonas de extracción minera y escombreras
Cultivos Transitorios	Cultivos Transitorios	Cultivos Transitorios
Cultivos permanentes	Cultivos permanentes	Cultivos permanentes
Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva	Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva	Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
Pastos	Pastos	Pastos
Bosques	Bosques	Bosques
Área abierta sin o con poca vegetación	Área abierta sin o con poca vegetación	Área abierta sin o con poca vegetación
Aguas/Área húmeda continentales	Lagunas lagos y ciénagas naturales	Lagunas lagos y ciénagas naturales
	Áreas agrícolas heterogéneas	Áreas agrícolas heterogéneas

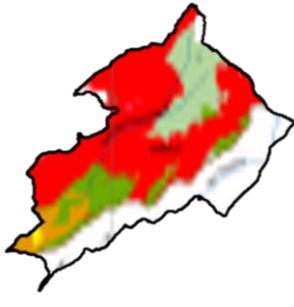
Fuente: Autoras; POMCA Rio medio y bajo Suárez, POMCA Rio Garagoa

Al analizar los cambios de cobertura vegetal y al compararlos con los expuestos en los POMCA, se pudo identificar una gran similitud en cuanto a la clasificación, la única diferencia relevante es que dentro de dicho documento se manejan áreas agrícolas heterogéneas, lo cual dentro del proyecto fueron manejados como cultivos transitorios, cultivos permanentes y áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva; al revisar la riqueza y abundancia de especies, estas corresponden a las expuestas en el análisis anterior.

Es importante resaltar que una de las amenazas presentadas dentro de Samacá es el alto cultivo de pinos combinado con fuertes erosiones; es por tal razón que cuenta con

conflicto por uso de tierra el cual evidencia una sobreutilización severa, lo que quiere decir que no se le está brindando una utilización óptima, generando afectaciones a las capacidades y las propiedades del suelo; esto fue detectado en el actual proyecto teniendo en cuenta todas las actividades socioeconómicas empleadas dentro del municipio. La actividad minera es un foco fundamental para la economía, pero hay que tener en cuenta que para el año 2014 solamente contaban con 20 títulos mineros, lo que representa una alta tasa de minerías ilegales; para el año 2016 Samacá presento extracción de carbón (339,58 Ton), Grava (26,87m3) y Recebo (13,52m3); por esta actividad es importante resaltar que este municipio pertenece a la formación guaduas la cual se da por fuertes procesos de deforestación y por dichas actividades allí empleadas, lo que genera que se exponga la roca a un mayor proceso denudativo, por tal razón la información brindada en el anterior análisis es correcta ya que permanece una relación con las áreas abiertas sin o con poca vegetación.

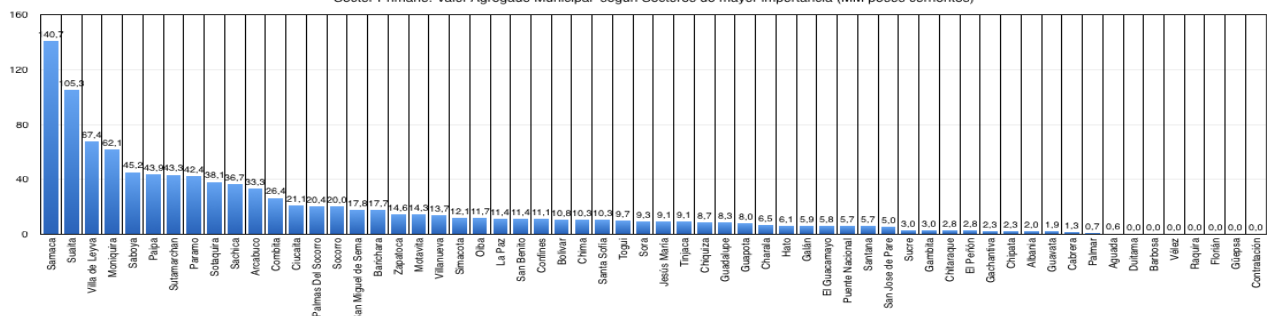
Tabla 22 Grado de sobreutilización del suelo

	Clase	Grado	Color
	Tierras Sin Conflicto	Ninguno	
Tierras Subutilizadas		Ligera	
		Moderada	
		Severa	
Tierras Sobreutilizadas		Ligera	
		Moderada	
		Severa	

Fuente: POMCA Rio medio y bajo Suárez

Samacá para el año 2013 era el municipio que más aportaba al sector primario, lo que quiere decir que tiene un alto componente agropecuario y buen manejo de cultivos permanentes.

Ilustración 24 Ranking de los municipios que más aportan al Sector Primario de la cuenca
Sector Primario. Valor Agregado Municipal según Sectores de mayor importancia (MM pesos corrientes)



Fuente: Elaboración POMCA con información de las Fichas de caracterización territorial. Departamento Nacional de Planeación, 2013.

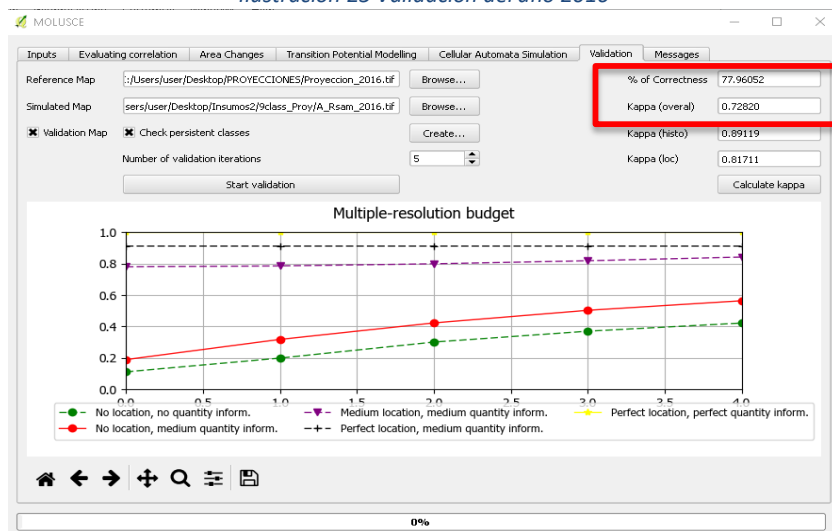
A partir de esto se deben tener en cuenta las problemáticas como se mencionó anteriormente la minería ilegal, la perdida de cobertura vegetal, vertimientos industriales, escasez del recurso hídrico, manejo inadecuado de residuos sólidos e inadecuado

manejo técnico en las actividades productivas. Todo lo anterior es producto de actividades antrópicas lo que genera que sea uno de los sectores más susceptibles a los movimientos de masa

7.2.2. Validación

Teniendo en cuenta las proyecciones generadas se realizó la validación para los años 2016 Y 2020 con el fin de identificar el porcentaje de confiabilidad dentro del modelo implementado y que tan acertada es la información proyectada, esto por medio de la imagen original con la clasificación de cobertura vegetal y la imagen proyectada para cada uno de los años antes mencionados. A continuación, se podrá evidenciar la validación para el año 2016.

Ilustración 25 Validación del año 2016



Fuente: Autoras

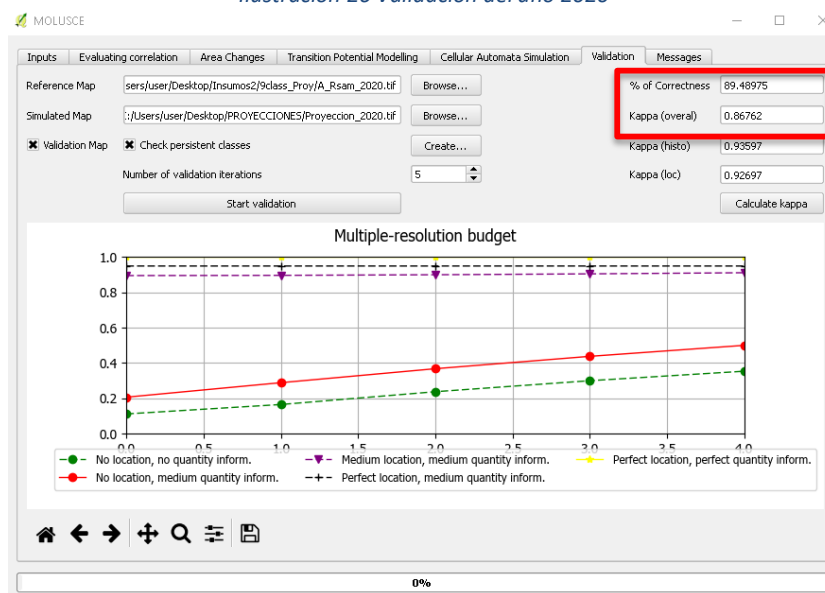
Al interpretar las coberturas generadas para la proyección del 2016, se pudo identificar una similitud con relación al mapa en el cual se interpretó directamente con la imagen de la USGS, con lo cual se corrobora mediante el índice kappa, donde cabe resaltar que entre más cercano sea su valor a uno mayor confiabilidad genera el modelo.

De acuerdo a López y Fernández (1999) el índice kappa corresponde a 0,7282, esto quiere decir que tiene una fuerza de concordancia “Buena”. Así mismo se puede conocer el porcentaje de concordancia, el cual es del 77,9%; todo esto es debido a que la proyección del 2016 influye de cierta manera, ya que se maneja la imagen de 1998 y 2007, y estas presentan ausencia y aparición de coberturas vegetales como es el caso de las Áreas abiertas, sin o con poca vegetación; debido a que el año 2007 presentaba afloramientos rocosos y en 1998 no se evidenció esta cobertura de manera significativas. Lo anterior se generó por el aumento de diferentes actividades socioeconómicas dentro del municipio de Samacá en los últimos años, dentro de las cuales está la agricultura, la minería y anteriormente la empresa textil, entre otras, generando afecciones ambientales,

infertilidad del suelo y erosión, lo cual hace que se presenten cambios notorios en este recurso como es el caso de la cobertura antes mencionada.

Por otro lado, la agricultura ha venido incrementando en la última década, con el fin de aumentar los tipos de producciones en cada sector. Donde se destacan los principales factores dentro de esta actividad es el tipo de abono que se emplea y el proceso en el control de plagas, lo cual genera efectos de manera agresiva, sin dejar a un lado que la actividad minera, la cual produce algunos cambios en las capas superficiales, desarrollando formaciones o afloramientos rocosos y es por esta razón que la validación no es 100% ya que debido al paso de los años estas actividades han elevado en gran medida, con el fin de aumentar los ingresos dentro del municipio de Samacá.

Ilustración 26 Validación del año 2020



Fuente: Autoras

Teniendo en cuenta la validación al año 2020 se puede evidenciar, un índice kappa de 0,8676 el cual se clasifica dentro de "Muy buena" de acuerdo a López y Fernández (1999); esto quiere decir que es viable la implementación de este tipo de metodologías, ya que nos da como resultados datos confiables, los cuales pueden servir como herramienta de planificación dentro del municipio de Samacá en años futuros, ya que hay que tener presente que el Esquema de ordenamiento territorial es del 2015 y cuenta con una vigencia hasta el año 2025 y se puede extender hasta el año 2027, pero este no cuenta con un detalle claro y específico de la vegetación que se encontraba en dicho año.

Lo anterior indica que la generación de esta metodología la podría usar el municipio, con el fin de conocer al año 2034 cuales podrán ser los cambios de la cobertura vegetal, y si se puede poner en practica acciones las cuales minimicen las problemáticas que año tras año se han venido presentando, producto de las actividades socioeconómicas que se manejan dentro del municipio con el fin de generar ingresos económicos. De igual forma es importante resaltar que en estudios realizados solamente se enfocan en el páramo

rabanal y no en la totalidad del municipio, lo que quiere decir que no hay suficiente información de cómo han sido los cambios en la cobertura vegetal a través del tiempo y como serán en tiempos futuros.

7.2.3. Proyecciones

Teniendo en cuenta los cambios de cobertura vegetal para los años 1998, 2000, 2007, 2010, 2016 y 2020, se implementó la herramienta Molusce en la cual se identificaron los cambios en las áreas de las coberturas presentes dentro del municipio, con base en lo anterior las proyecciones generadas fueron para el año 2016 y 2020 para la calibración del modelo, para así generar la proyección del año 2034. Se eligió el año 2034 a proyectar, teniendo varios criterios, uno de ellos fue la formula obtenida por la metodología molusco, puesto que al analizar dos años aleatorios y realizar la proyección a un año futuro, arrojaba alto porcentaje de confiabilidad y veracidad, esto se presentó, ya que las imágenes lamsat que se utilizaron eran las adecuadas y se realizaron las correcciones precisas a las imágenes, con el fin de disminuir la probabilidad de error.

Otro factor determinante, es que se busca que el proyecto genere un impacto positivo al municipio de Samacá, puesto que se analizó que, si se realizaba una proyección a largo plazo, la confiabilidad de los datos no sería la mejor, de igual modo si se realizaba a un corto plazo, por tal razón se decidió investigar hacia un mediano plazo, con el objetivo de que sirva como herramienta de planificación para la ejecución del próximo esquema de ordenamiento territorial.

Tabla 23 Porcentajes de cambio año 2020 a 2034

COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PORCENTAJE DE CAMBIO (%)	
		2020	2034
	Zonas Urbanizadas	1,96	1,973
	Zonas de extracción minera y escombreras	2,74	2,76
	Cultivos Transitorios	29,56	33,13
	Cultivos permanentes	19,04	16,27
	Pastos	7,34	7,26
	Bosques	13,19	10,21
	Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva	21,34	20,37
	Área abierta sin o con poca vegetación	2,22	2,4
	Aguas/Área húmeda continentales	5,04	4,97

Fuente: Autoras

En el mismo orden de ideas los porcentajes se relacionan con la extensión total del municipio y el número de cada pixel en cada una de las zonas, el 100% es el equivalente a la totalidad del municipio. Dentro de las Zonas urbanas, se puede evidenciar un aumento al año 2034 con relación al año 2020, de manera no muy significativa, solamente

del 0,013%, lo que quiere decir que el aumento poblacional en esta zona será una amenaza. Teniendo en cuenta las actividades socioeconómicas al analizar la Zona de extracción minera, presento una disminución al año 2034, con 0,02%, puede ser producto de problemáticas ambientales dentro de la zona y teniendo en cuenta que el modelo de proyección tiene una confiabilidad entre buena y muy buena, lo que quiere decir que el porcentaje de error es bajo, es por tal razón que la disminución de este factor puede ser factible, ya que para dicho año pueden generarse estrategias con el fin de manejar extracción bajo la producción más limpia. En cuanto a Cultivos transitorios, se puede evidenciar un aumento notorio del 3,57%, debido a que con el paso del tiempo Samacá se ha catalogado como un municipio agrícola, y a futuro con el aumento de la población, se generara aumento de esta actividad económica con el fin de generar mayores ingresos; con relación a esto se podrá inferir que la deforestación aumentara, afectando en gran medida los cultivos de vegetación herbácea que se encuentran dentro del municipio.

Dentro de los Cultivos permanentes, se pudo evidenciar que se presentó una disminución de 2,77%, de lo cual se puede inferir que es producto de deforestación, ya que estos cultivos son actualmente para fines maderables, lo mismo se puede evidenciar en la zona de bosques, la cual también presenta una disminución de 2,98%. En cuanto a la zona de pastos disminuyo en 0,08%, esto se debe a que son zonas para uso agropecuario, por tal razón para dicho año pudo generarse una variación para la implementación de cultivos; debido a todas las actividades socioeconómicas se verá reflejado las problemáticas ambientales para el año 2034, presentando un aumento de 0,97% con relación a las áreas con vegetación herbácea, la cual es nativa del páramo e igualmente un aumento de 0,18% en áreas abiertas sin o con poca vegetación, en este factor hay que resaltar que el modelo no hace una relación de que aparición de nueva cobertura vegetal, en el año 1998 este tipo de cobertura no se presentaba y ya en el año 2016 se evidenció en poca medida, y a partir de estos años es que se ejecuta el modelo para la proyección de 2034, es por dicha razón que el modelo no es 100% confiable. Teniendo en cuenta lo antes mencionado las aguas continentales para dicho año también presentaron una disminución del 0,07% producto del aumento en alguna actividad socioeconómica.

7.2.4. Deforestación en Samacá (Causas y Consecuencias).

En este momento de la investigación es necesario traer a colación un término muy importante y que representa totalmente los bienes que produce el municipio, este es el de *Commodities*, este representa aquellos productos obtenidos sin transformación previa, también se pueden denominar como materia prima. Productos como los obtenidos bajo cultivo, la madera, papel, minerales entre otros; son considerados dentro de este término.

Estos commodities son señalados como ser uno de las principales causas de deforestación y de generar riesgo para los bosques o áreas naturales, transformándolas

en zonas de producción. La degradación y deforestación de estas áreas naturales inhibe la provisión de servicios ecosistémicos vitales que sustentan la seguridad alimentaria, agua, la salud y de los medios de subsistencia.

Como se mencionaba anteriormente una de las principales consecuencias de las malas prácticas socioeconómicas es la deforestación de especies vegetales dentro del municipio, causando una notable disminución de extensión de coberturas herbáceas y boscosas. Por medio de la interpretación de las imágenes, visitas de campo y revisión de documentos como lo fueron el EOT y el POMCA, se lograron evidenciar las posibles causas de deforestación, ocasionadas por las actividades socioeconómicas en el municipio.

- ✓ El crecimiento poblacional es una causa de deforestación, puesto que al aumentar la población aumentara el consumo de commodities, causando mayor degradación ambiental. Para el año 2034, se proyecta una población de más de 26814 habitantes. En resumen, esto hará que se presente mayor demanda de productos, y si estas no se producen de manera sostenible los impactos serán mayores.
- ✓ Los pequeños productores juegan un papel muy importante en la deforestación, puesto que, al ser muy numerosos, no se tiene el control de las acciones que pueden estar afectando el ecosistema, aparte el hecho de que en muchos hogares usen la madera como materia prima para el uso de estufas de leña.

Otro factor que causa la deforestación está relacionado a las propiedades geomorfológicas del municipio. Samacá se encuentra bajo la formación Guaduas, donde como bien se conoce, en su mayoría está compuesto por lutitas y areniscas. Esto hace que sus suelos no sean del todo estables, y que tengan posibilidades deslizamientos, pero de igual modo hace que sean zonas de extracción de arena. Samacá tiene un fuerte proceso de deforestación debido a las actividades de extracción minera, que exponen la roca madre a procesos denudativos, a esto hay que sumarle que, por las vibraciones artificiales producto de vehículos de carga pesada, los deslizamientos tienden ser aún más frecuentes.

7.3. CAPÍTULO 3: RELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL Y LA CALIDAD DEL AGUA

Teniendo en cuenta los cambios de cobertura vegetal presentados en el año 2020 se realizó la respectiva comparación con los datos de calidad de agua medidos este mismo año, a través del proyecto monitoreo de la calidad de agua (plataforma comunitaria); en donde se aprecia los siguientes criterios (Cuellar, 2015).

Tabla 24 Valores de índice de calidad de agua

	Valor ICA mayor a 0,71	Aceptable
	Valor ICA entre 0,51 a 0,70	Medio
	Valor ICA menor a 0,50	Critico

Fuente: Proyecto monitoreo de la calidad de agua (plataforma comunitaria)

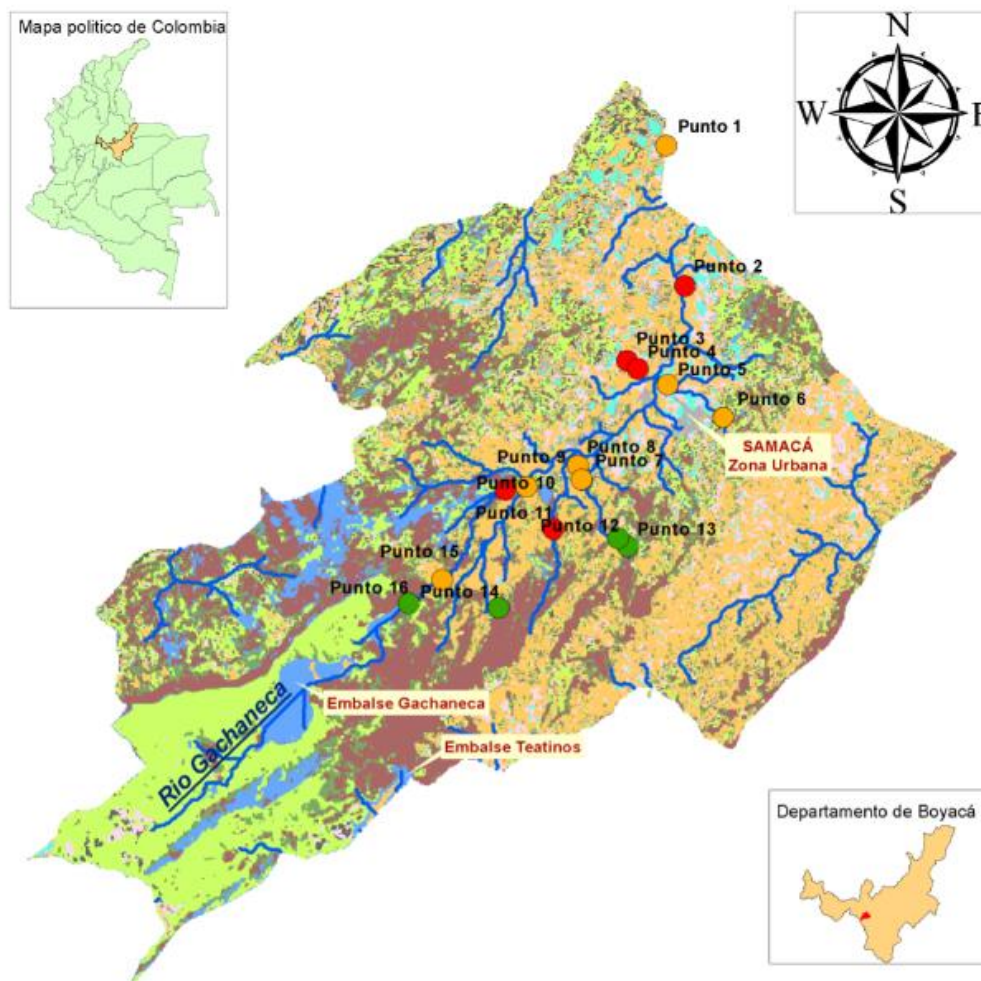
Tabla 25 Parámetros tomados para Calidad del agua

Punto	x	y	pH	Oxígeno (%)	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Olor	Turbidez (NTU)	Temp (°C)	ICA	Actividad económica local
1	-73,490	5,546	7,23	39	1681	Aceptable	20	18,20	0,63	Unión de afluentes
2	-73,487	5,519	2,00	***	***	Inaceptable	432	***	0,08	Aguas residuales
3	-73,498	5,504	6,02	49	319	Inaceptable	20	14,99	0,27	Aguas residuales
4	-73,496	5,502	7,12	***	***	Aceptable	15	18,11	0,57	Zona agrícola
5	-73,490	5,499	6,74	65	560	Inaceptable	10	17,87	0,38	Zona agrícola
6	-73,479	5,492	7,31	47	534	Aceptable	11	14,98	0,66	Zona urbana
8	-73,507	5,480	6,63	30	582	Aceptable	20	18,52	0,53	Zona industrial
7	-73,508	5,483	7,09	73	532	Inaceptable	20	18,37	0,45	Zona agroindustrial
9	-73,518	5,479	6,74	40	333	Aceptable	18	15,32	0,57	Zona Urbana
10	-73,522	5,478	4,43	55	1077	Inaceptable	86	13,71	0,20	Zona Minera
11	-73,513	5,470	5,19	71	1360	Inaceptable	14	14,29	0,28	Zona Minera
12	-73,500	5,468	6,50	49	123	Aceptable	17	13,54	0,73	Zona ganadera
13	-73,498	5,467	6,47	49	128	Aceptable	5	11,61	0,72	Nacedero de Agua
14	-73,524	5,455	6,61	65	33	Aceptable	9	8,61	0,85	Zona de tala
15	-73,535	5,460	4,44	52	22	Aceptable	2	11,09	0,69	Aguas abajo de Represa
16	-73,542	5,455	5,10	47	15	Aceptable	2	12,18	0,71	Represa

Fuente: Proyecto monitoreo de la calidad de agua (plataforma comunitaria)

El embalse Gachaneca genera aportaciones de agua al río Gachaneca el cual desemboca en el río Suarez, es por tal razón que gran parte del municipio pertenece a la cuenca medio y baja del río Suarez (Ver Mapa Anexo 4).

Ilustración 27 Comparación calidad de agua y cobertura vegetal



Fuente: Autoras

Tabla 26 Análisis comparación calidad del agua y cobertura vegetal

Punto 16	Este punto es el que cuenta con mejores condiciones debido a que se sitúa cerca de la represa Gachaneca y teatinos; de igual forma es el punto más alto dentro del municipio con pendiente del 70% lo que quiere decir que es un terreno escarpado, así mismo no hay mucha presencia de actividades socioeconómicas que afecten las propiedades químicas y físicas del agua.
Punto 15	Este punto presenta afectación por actividad agrícola y pecuaria, ya que se maneja este tipo de actividades cerca a la fuente hídrica. Al ser un lugar con pendientes altas en el punto de muestreo se evidencia cultivos transitorios lo cual hace que producto de fungicidas, pesticidas y diferentes tipos de abonos generen vertimientos de estos agroquímicos afectando indirectamente el cauce (Río Gachaneca, igual mente se comienza a presentar ganadería extensiva lo que genera que por procesos de infiltración las heces de los animales lleguen al cauce generando cambio en las propiedades.

Punto 14	Estos puntos son aceptables, ya que se encuentran en alta montaña, con pendientes cercanas al 70%, generando una buena oxigenación en el agua, e igualmente una buena depuración y filtración de la misma; hay que tener en cuenta que este tipo de agua es proveniente del páramo, de la Embalse Gachaneca.
Punto 13	Es un punto el cual cuenta con pendientes del 70% aproximadamente, este muestreo es muy cercano a los nacimientos de agua lo cual hace que purifique de la mejor forma y valla con menos agroquímicos y menos residuos producto de industrias mineras.
Punto 12	Es un punto el cual cuenta con pendientes del 70% aproximadamente, este muestreo es muy cercano a los nacimientos de agua lo cual hace que purifique de la mejor forma y valla con menos agroquímicos y menos residuos producto de industrias mineras.
Punto 11	Este punto se encuentra en 0,28; por las malas prácticas agrícolas, y la extracción minera que se encuentra aguas arriba, en este punto se encuentran cultivos de transición lo que quiere decir que se puede generar materia orgánica la cual va directamente a la fuente hídrica. De igual forma cultivos maderables los cuales por el aumento de proceso de tala genera partículas de pequeño tamaño las cuales afectan las propiedades del agua.
Punto 10	Este punto es Crítico, ya que cuenta con un valor de 0,20 en temas de calidad, esto producto de aproximadamente 20 minerías cercanas, las cuales pueden estar disponiendo de sus vertimientos no tratados directamente a las fuentes hídricas cercanas, generando desequilibrio en las propiedades del agua; de igual manera hay que tener en cuenta que las pendientes son un poco menores aproximadamente del 40%, lo que genera que los procesos de depuración no sean tan eficientes.
Punto 9	Este punto está en el límite de ser aceptable, lo que quiere decir que es un punto el cual no es tan afectado, el problema radica en el nivel de turbidez, producto de la extracción minera que se encuentra aguas arriba; generando contaminación al río Gachaneca producto de dichos vertimientos derivados de las actividades mineras .
Punto 8 Punto 7	Presenta en gran medida afectaciones producto de actividades agrícolas, pesticidas, fungicidas, entre otros; de igual manera se ve afectado por la extracción minera del sector. Así mismo se presenta infiltración aguas arriba producto de empresas maderables y mineras; hay que tener en cuenta que cerca hay pastizales lo que quiere decir que hay presencia de materia orgánica producto de actividades pecuarias. Estos puntos se catalogan como medios, ya que en algunas zonas se evidenciaron las malas prácticas en cuanto a las actividades agropecuarias que se manejan dentro del municipio; de igual forma hay que tener en cuenta que cerca de estos puntos se encuentra el casco urbano, el cual claramente presenta una afectación ambiental directa a la fuente hídrica. En cuanto al punto 7; este también se ve afectado por la actividad minera que se adaptó en cercanías a la fuente hídrica.
Punto 6	En este punto se evidencia que aguas arriba del afluente hay descargas residuales de industrias mineras y vertimientos domésticos debido a la cercanía al casco urbano.

Punto 5	Se puede evidenciar en la microcuenca que este punto de muestreo se está viendo afectado por los vertimientos domésticos de manera directa; de igual manera por vertimientos directos de los residuos propios de la actividad agropecuaria.
Punto 4	Estos puntos son críticos ya que oscilan entre valores menores a 0,50 lo que quiere decir que las zonas aledañas al río están generando impactos negativos a las fuentes hídricas; la actividad socioeconómica que genera mayor afectación es la agropecuaria, ya que para los cultivos tienen en cuenta químicos para el manejo de plagas que se pueden presentar, de igual forma aguas arriba se practica la minería, en donde algunas de ellas disponen sus vertimientos directamente al río; otro factor que influye en estos puntos es que es una zona plana, con bajas pendientes lo que hace que se presente poca oxigenación, y una difícil depuración de la fuente hídrica.
Punto 3	Este punto recibe todos los tributarios antes mencionados, y algunos de agua residual como es el caso de los procedentes del casco urbano del municipio y así mismo de procesos económicos; esta en zona de valle lo cual hace que no se presentes pendientes elevadas y que los movimientos de agua no sean tan rápidos, lo que hace que se presente una depuración más lenta y se concentre mayor cantidad de agua contaminada.
Punto 2	Este punto cuenta con las mismas afectaciones del punto anterior pero hay que tener en cuenta que se le suma unos pequeños caseríos que generan claramente más vertimientos y hay que tener en cuenta que aumentan la cantidad de minas presentes dentro de la microcuenca
Punto 1	En este punto podemos evidenciar un ICA de 0,63 lo que quiere decir que es una calidad del agua media, esto es debido a la actividad de minería que se maneja en este lugar, ya que son actividades que se desarrollan de manera no sostenible, generando afectaciones a las fuentes hídricas del lugar; mejoran las condiciones ya que al realizar el análisis por microcuencas en el anexo 4, se pudo identificar que es independiente lo que quiere decir que no es tributaria del río Gachaneca, lo que da a entender que no llega el agua de aguas arriba de todos los puntos de muestreo.

Fuente: Autoras

7.3.1. Comparación ICA del proyecto actual con el POMCA del Río medio bajo Suárez y POMCA Río Garagoa

Teniendo en cuenta los datos brindados a través del proyecto monitoreo de la calidad de agua (plataforma comunitaria), se presentó la relación entre calidad y cobertura vegetal como se evidencia en la sección anterior.

Se pudo determinar que el río principal dentro del municipio de Samacá es el Río Gachaneca el cual el tributario del Río Suarez como se evidencia a continuación:

Ilustración 28 ICA con relación al POMCA de la Cuenca del río medio y bajo Suárez



Fuente: Autoras, POMCA Río medio y bajo Suárez, POMCA Río Garagoa

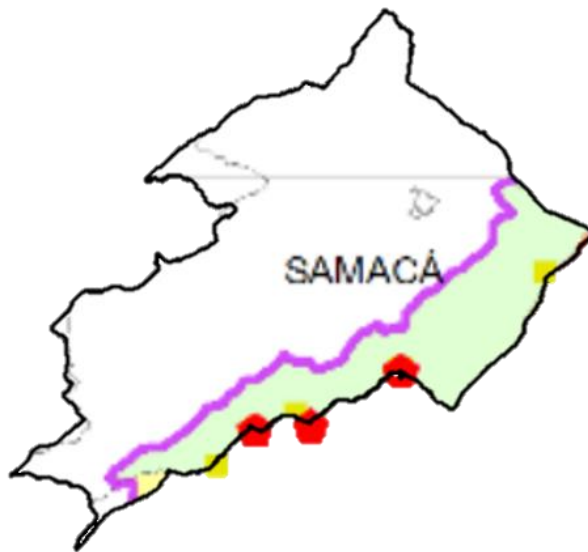
De acuerdo con la imagen anterior se puede evidenciar una comparación con los puntos de muestreo según el POMCA del río medio y bajo Suárez, dentro de los cuales se tiene en cuenta: San José de Pare, Moniquira, Gachantiva, Tinjaca y Villa de Leiva; lo cual hace evidente que se presente un conflicto por la disponibilidad y uso del recurso hídrico dentro del municipio y aguas arriba, esto generando que el ICA (índice de calidad del agua) este dentro de medio y crítico. Dentro del municipio de Samacá se presenta diferentes actividades socioeconómicas como lo son minería y zonas agropecuarias, como se ha venido evidenciando en el documento, generando una utilización inadecuada y uso excesivo para el cumplimiento de dichas actividades; es importante resaltar que existe una falta de control ambiental en puntos de vertimiento a los causes, ya que como

se puede observar muchos de los municipios con índices de calidad crítica están generando afectación directa a los municipios que se encuentran aguas abajo; generando una degradación a las fuentes hídricas por el aumento de cargas contaminantes, una disminución de dicho recurso y un aumento de requerimientos del recurso hídrico para el desarrollo de actividades productivas.

Para este punto es de gran relevancia mencionar la protección y cuidado del páramo Rabanal, ya que es la única zona donde la calidad del agua se encuentra en condiciones aceptables.

Teniendo en cuenta el POMCA del río Garagoa; Samacá cuenta con un ICA medio producto de las cargas contaminantes del sector agropecuario debido a esto es que el municipio aporta en gran medida al sector primario; como se puede evidenciar de color rojo un ICA crítico y el amarillo ICA medio, confirmando la información suministrada en el actual proyecto.

Ilustración 29 ICA con relación al POMCA de la Cuenca del Río Garagoa



Fuente: POMCA Río Garagoa

8. IMPACTO SOCIAL, HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

Con el desarrollo del proyecto en el municipio de Samacá, se crea un impacto positivo a la comunidad, aunque va más encaminada a ser un documento dirigido a futuros investigadores, que se dirijan a esta investigación, ya que esta será materia prima para emprender proyectos futuros, de igual modo hacia los entes gubernamentales, para que vean de forma más detallada, con lo que cuenta el municipio, y de este modo poder tomar decisiones más adecuadas, evitando riesgos y fortaleciendo la ordenación del municipio.

Este proyecto también brinda un impacto a los sectores socioeconómicos del municipio, puesto que se les brinda una perspectiva ambiental, de cómo afecta o favorece al ecosistema. De igual forma por medio de la prospectiva con la que cuenta el POMCA del Rio medio y bajo Suárez y el POMCA del Rio Garagoa; con las cuales se puede generar una relación de cuales estrategias son viables para la implementación dentro del municipio.

Los mapas, brindan a la comunidad una estrategia lúdica, pedagógica y de fácil comprensión, de cómo ha cambiado su territorio, por actividades que ellos normalmente practican, esto hace principalmente una toma de consciencia tanto de los habitantes como del gobierno.

Dentro del proyecto, se buscó crear estrategias que sirvan al municipio, y ayude a solucionar grandes problemáticas ambientales que presenta el municipio. Estas estrategias nacen al entender el comportamiento social, económico y ambiental de Samacá.

Los POMCA establecen diferentes estrategias con el fin de brindar soluciones a futuro de los posibles daños o problemáticas presentes dentro del municipio dentro de las cuales se enmarcan las siguientes

- ✓ Más compromiso, control, y seguimiento por parte de las CARS en las licencias ambientales de explotación de minería que expiden.
- ✓ Programas de recuperación, reforestación y protección de áreas críticas y en zonas de acueductos.
- ✓ Lograr la descontaminación de los vertimientos a las fuentes hídricas por medio de Plantas de tratamiento de aguas residuales (Cuellar,2018).

Así mismo se establecen prospectivas las cuales son prospectiva por Escenarios, Comunitaria y de Infraestructura, las cuales se relacionan con las estrategias que se lograron identificar en el trascurso de la investigación con el fin de brindar posibles soluciones a los grandes problemas que se presentan en el municipio de Samacá (Acosta, 2018)

PROSPECTIVA POR ESCENARIOS

- ✓ **Eficiencia y productividad agropecuaria:** Esta estrategia va dirigida hacia el sector agrario del municipio, donde se propone el aumento de la productividad en las zonas

ya existentes, evitando la ampliación de la deforestación, y áreas naturales. Esta opción agroecológica, proyecta ser una alternativa sostenible, encaminada a la obtención de ganancias ambientales y económicas.

- ✓ **Certificaciones ambientales:** Esta herramienta tiende a ser una forma, de evidenciar el buen manejo que se le estén dando a las actividades productivas dentro de Samacá. Para el adecuado manejo y ejecución de estas certificaciones, debe estar directamente relacionado con entidades públicas y privadas. En muchos países, este tipo de “communités” solo son comprados si estos cuentan con una certificación, logrando que cada vez más, las empresas mejoren sus prácticas de tipo ambiental. Esto se reglamenta bajo la ISO 1400 y la ISO 1402
- ✓ **Uso adecuado del suelo:** Con el análisis realizado anteriormente se encontró que Samacá cuenta sobreutilización del suelo, generando grandes problemas de uso del suelo y de uso de captación de recurso hídrico. Tal razón hace que se deba proponer, la creación de un documento o un marco institucional con mayor rigurosidad acerca del correcto uso del suelo. De igual modo, se propone los incentivos económicos, e incrementar la producción y conservar el potencial productivo de sus tierras.
- ✓ **Compra de predios con potencial de reservorios:** Esta estrategia está ligada, al potencial tan alto de riesgo de deslizamiento por causas de deforestación con el que cuenta el municipio. Esta compra de predios permite la conservación de fuentes subterráneas, la protección de especies de flora y la prevención de desastres naturales futuras con la implantación de reforestación en estas zonas.

PROSPECTIVA COMUNITARIA

- ✓ **Educación ambiental:** Este factor es de gran importancia, puesto que la población genera conocimientos relacionados al medio ambiente, comprendiendo los problemas que acogen su territorio, y generando soluciones a los mismos. Cuando la sociedad conoce lo que tiene, es más sencillo conservarlo. Dentro de los POMCA se establece la necesidad de promover principios de conservación y cuidado por medio de estrategias de educación ambiental dirigidas a la población en general; asimismo poder tener una comunidad más educada y comprometida con el cuidado del medio ambiente en general.
- ✓ **Políticas ambientales:** Esta estrategia está ligada, al cumplimiento adecuado de las normas en pro de la conservación ambiental. En esta estrategia se propone la reglamentación de las conductas adecuadas y las que no se pueden realizar en cada actividad económica dentro del municipio, evitando la degradación ambiental.
- ✓ **Implementación de Producción Más Limpia (PML), en sectores económicos y sociales del municipio:** Esta herramienta se propone con el fin de la creación de estrategias de tipo ambiental que son integradas a los procesos productivos de cada uno de estos sectores, esto con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir riesgo para el medio ambiente y los seres humanos. Teniendo en cuenta los POMCA es necesario la implementación de estrategias para la gestión ambiental producto de actividades económicas.

Teniendo en cuenta la producción más limpia los POMCA hacen necesario la implementación de sistemas de riego que ahorren agua y garanticen el buen uso de la misma.

9. CONCLUSIONES

Con el procesamiento de las imágenes satelitales y el posterior análisis de las coberturas vegetales mediante la metodología Corine Land Cover se logró determinar una disminución exponencial de la vegetación herbácea y arbustiva producto de actividades socioeconómicas del municipio. Se logró determinar que una de las principales causas de deforestación es la agricultura extensiva y la minería, generando un conflicto de uso de suelo. De igual modo los cultivos transitorios generan tanto reforestación como deforestación, puesto que usan la madera como aprovechamiento forestal, y necesitan estar talando y sembrando a la vez nuevas especies. Además, se identificó que los bosques han aumentado su cobertura vegetal, esto producto a reforestaciones y procesos de sucesión vegetal.

De acuerdo con la caracterización de las coberturas vegetales, es importante resaltar que en los últimos 22 años las coberturas vegetales que presentaron mayor aumento dentro del municipio de Samacá, fueron los cultivos permanentes con un 9,98%, como se evidencia en la *Tabla 18*, esto producto de actividades de reforestación para fines de aprovechamiento maderable; de igual manera se evidencia una fuerte disminución en áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva de un 11,78%, debido a diferentes actividades antrópicas con fines socioeconómicos; estas áreas están siendo reemplazadas por cultivos, zonas de extracción minera o pastos, claramente generando mayores ingresos para el municipio, pero mayor afectación ecosistémica.

Por medio de la validación de los años 2016 y 2020 se pudo conocer la fuerza de concordancia con la que cuenta el modelo de predicción, las cuales fueron buena (77%) y muy buena (89%) respectivamente, este porcentaje es debido a la aparición de áreas abiertas sin o con poca vegetación en el transcurso de los años; para el año 2034, se puede evidenciar un crecimiento exponencial en diferentes coberturas vegetales, y así mismo afectando drásticamente otras generándole disminución de manera muy notoria, esto producto la deforestación y la reforestación aplicada dentro del municipio, y de las diferentes actividades socioeconómicas las cuales en un futuro necesitaran mayor producción esto debido al aumento de población dentro del municipio.

Conforme a las proyecciones generadas, como se evidencia en el *Anexo 2*, las coberturas que presentan mayor afectación a lo largo del tiempo son los Bosques, Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y aguas- áreas húmedas continentales, todas estas disminuyen en un 4,020% al año 2034 con relación al año 2020.

Teniendo en cuenta los cambios de cobertura vegetal y los índices de calidad del agua se puede concluir que el 25% de los puntos tomados en las fuentes hídricas se encuentran en condiciones aceptables, el 43,75% en condiciones medias y el 31,25% en condiciones críticas, esto producto de las diferentes actividades socioeconómicas

manejadas dentro del municipio, de igual forma tiene que ver las pendientes encontradas, ya que entre mayor pendiente, mayor será la oxigenación, filtración y depuración del agua.

De igual modo con el desarrollo de la presente investigación, se pudo corroborar algunas falencias que presenta EOT, con lo que concierne a la clasificación de coberturas vegetales que presenta el municipio, así mismo la escasez de análisis de calidad de agua en los cauces principales de Samacá. Logrando encontrar que el presente es una herramienta de planificación territorial necesaria para el municipio de Samacá, lo cual hará que se disminuya la posibilidad de riesgos o desastres y se le dé un mejor ordenamiento al territorio.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta la corrección de las imagen descargadas por satelitales, debido a que estos en algunos casos presentan una serie de interferencias, lo cual hace que mucha información sea perturbada y esto genere errores; es importante tener en cuenta la corrección atmosférica, ya que la nubosidad de las imágenes es un problema que omite grandes datos, de igual forma la corrección topográfica, la cual brinda mejor luminosidad y disminuye el relieve, para una mejor interpretación y finalmente la corrección por bandeo, que completa una serie de datos faltantes por medio de interpolación; todo esto con el fin de obtener información verídica dentro de los análisis.

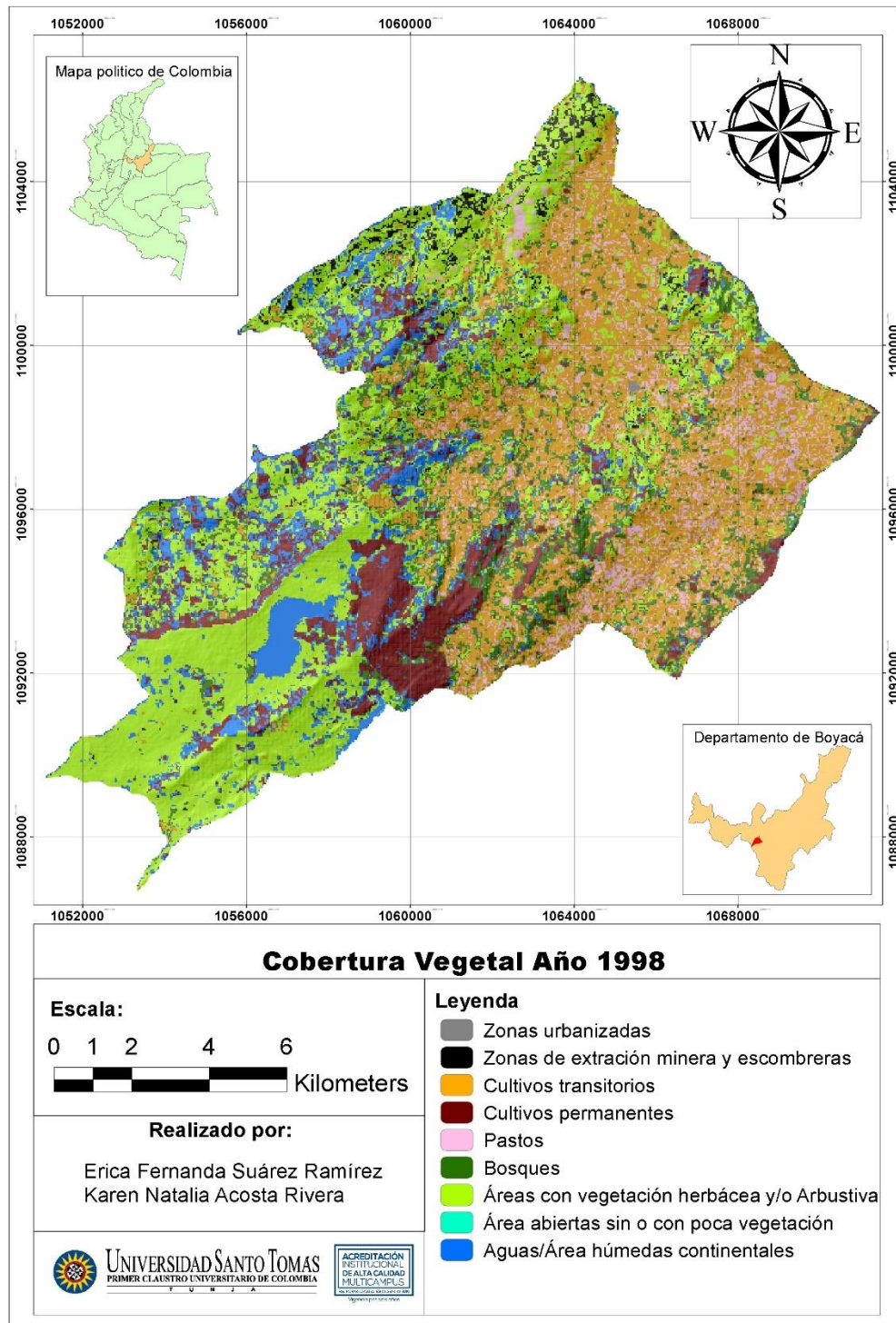
Para la identificación de las coberturas vegetales se recomienda usar una escala de trabajo mediana que este dentro de 1:100.000 y 1:5.000 con el fin de obtener una clasificación con mayor detalle y poder clasificar de mejor manera cada una de las coberturas a manejar.

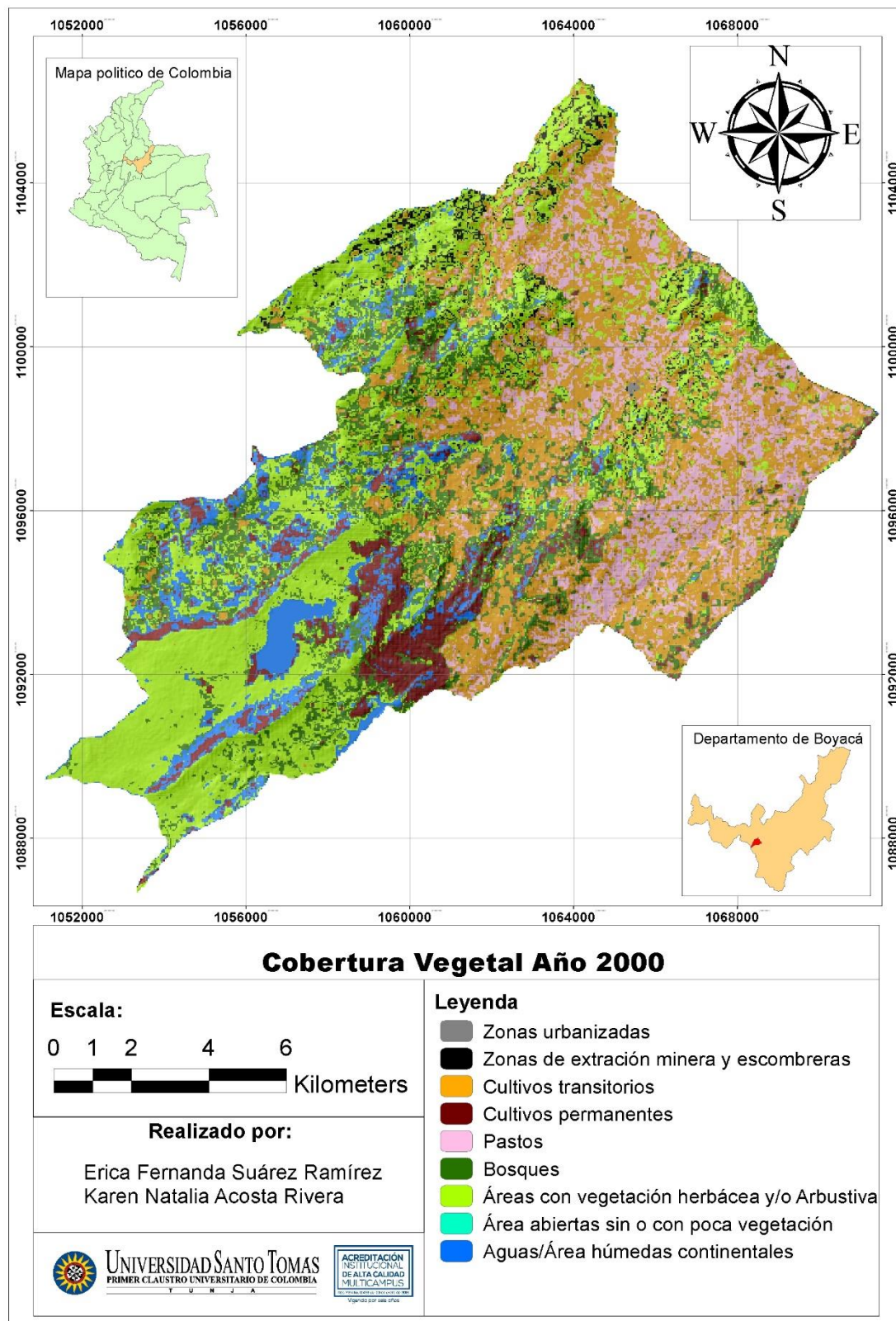
Se recomienda la generación de modelos predictivos en cuanto a las coberturas vegetales, ya que estos sirven como herramienta de planificación, generando datos de los cambios futuros, lo cual brindara una mejor aproximación del comportamiento del territorio de los años venideros. Asimismo, es importante implementar la validación de las imágenes, con el fin de conocer el grado de confiabilidad de dichas predicciones. Estos modelos se recomienda implementarlos a mediano plazo, ya que a corto plazo no serán tan aprovechados; y a largo plazo, hay que tener en cuenta que se generaría un vacío demasiado grande de datos faltantes, lo que hace que se generen mayor cantidad de errores a la hora de generar la proyección y menor confiabilidad.

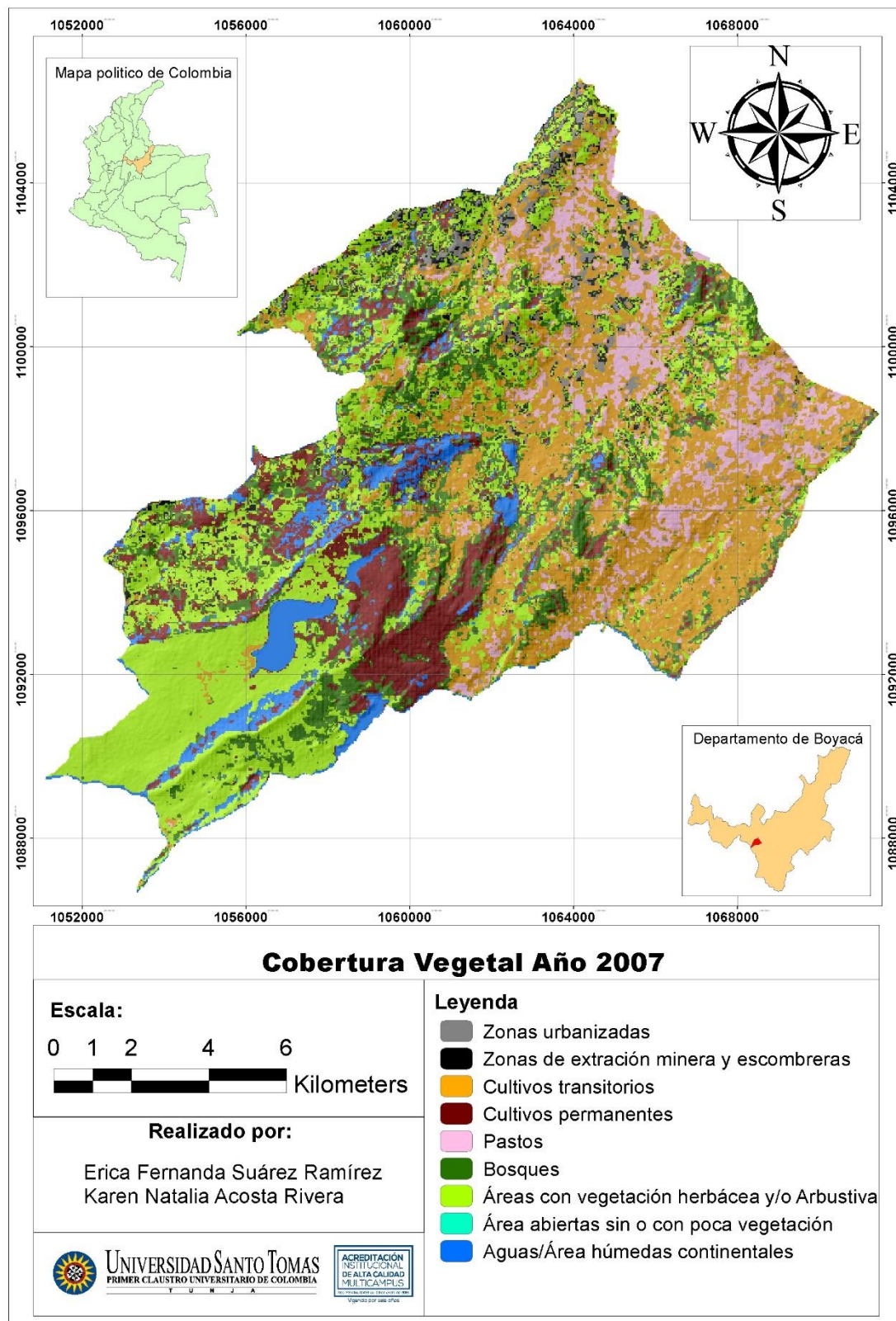
Para el uso de la información suministrada por el proyecto es recomendable, correlacionar esta información, con bases de datos o estudios que se encuentren vigentes dentro del municipio de Samacá

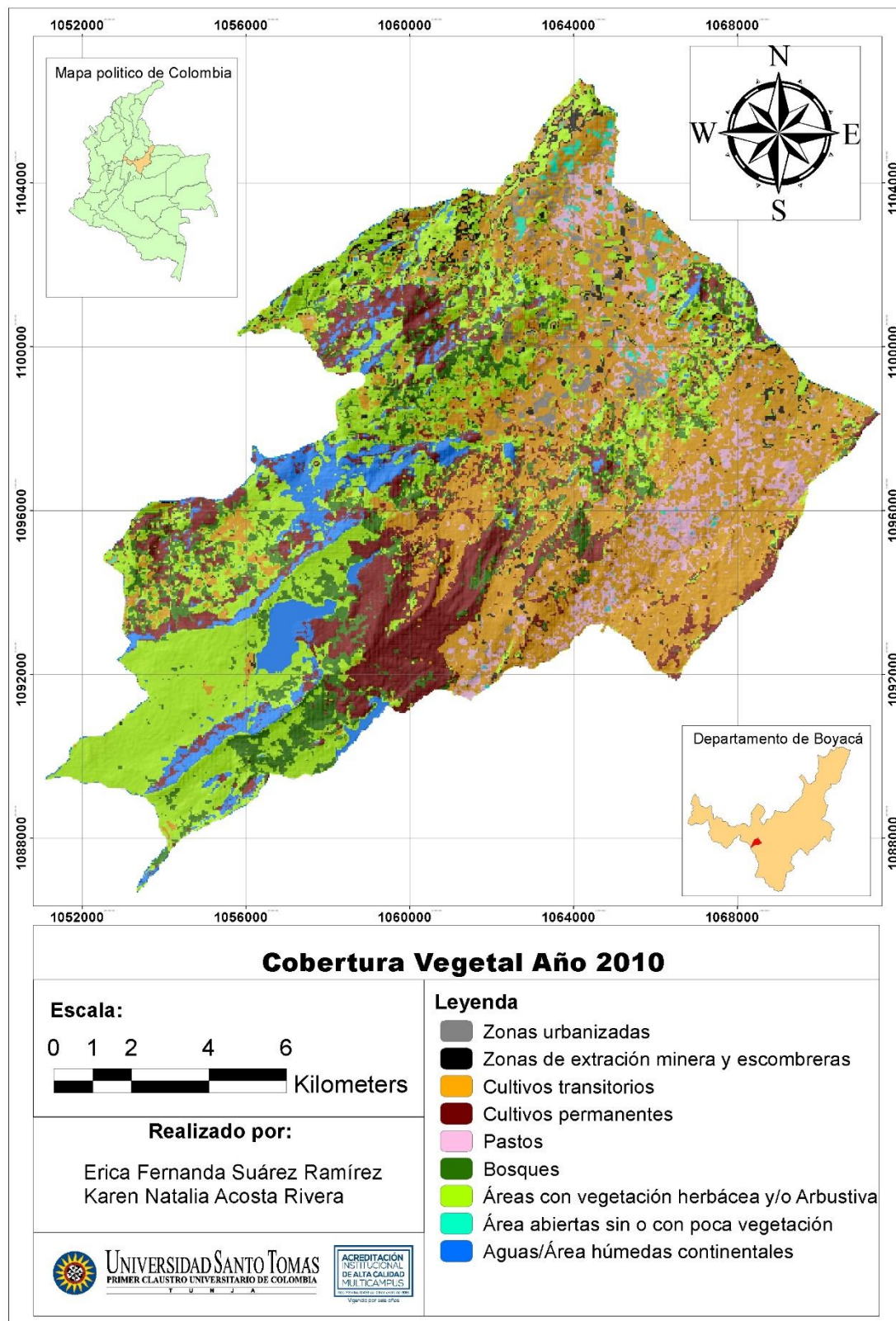
11. ANEXOS

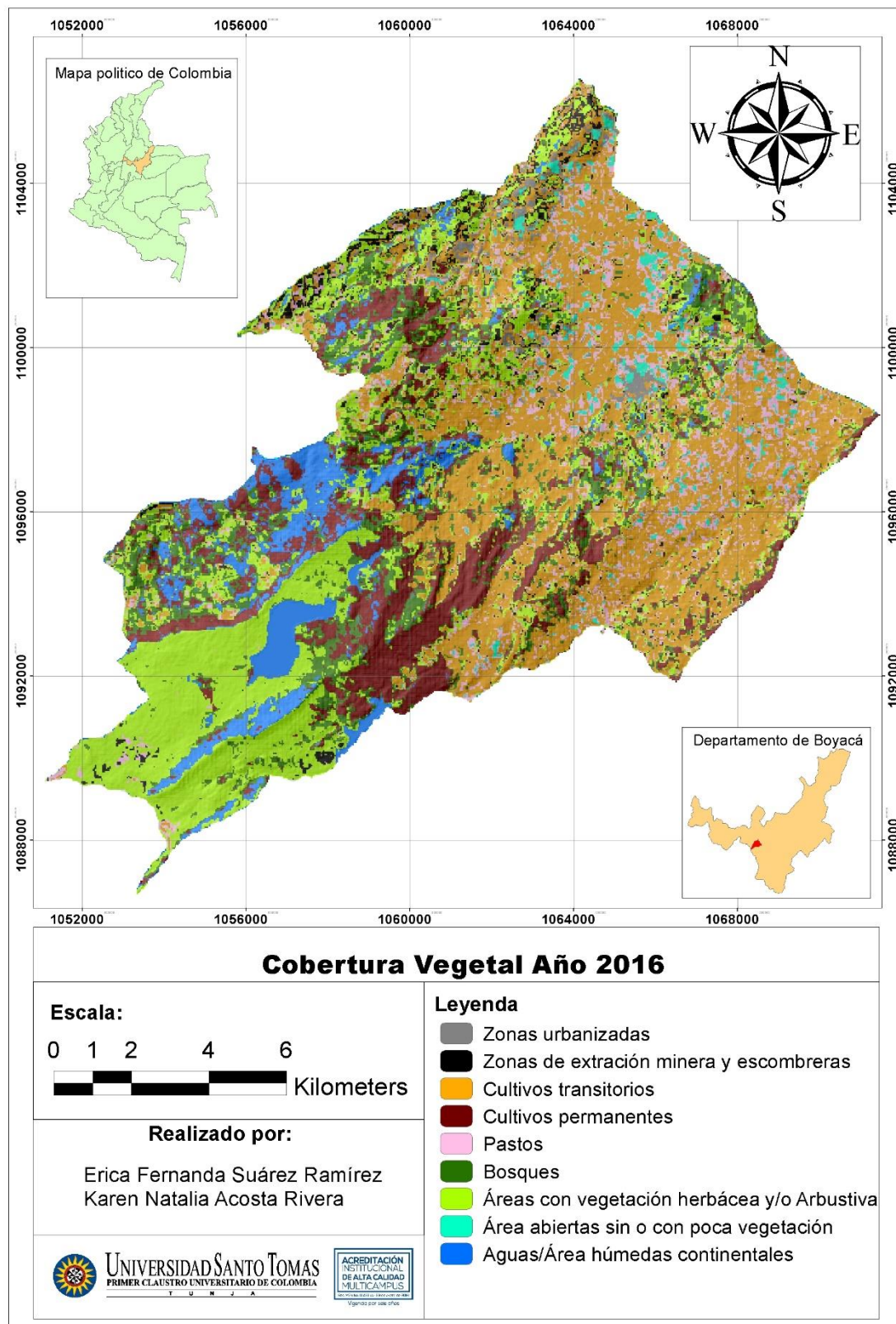
11.1. Anexo 1 - Mapas De Coberturas Vegetales

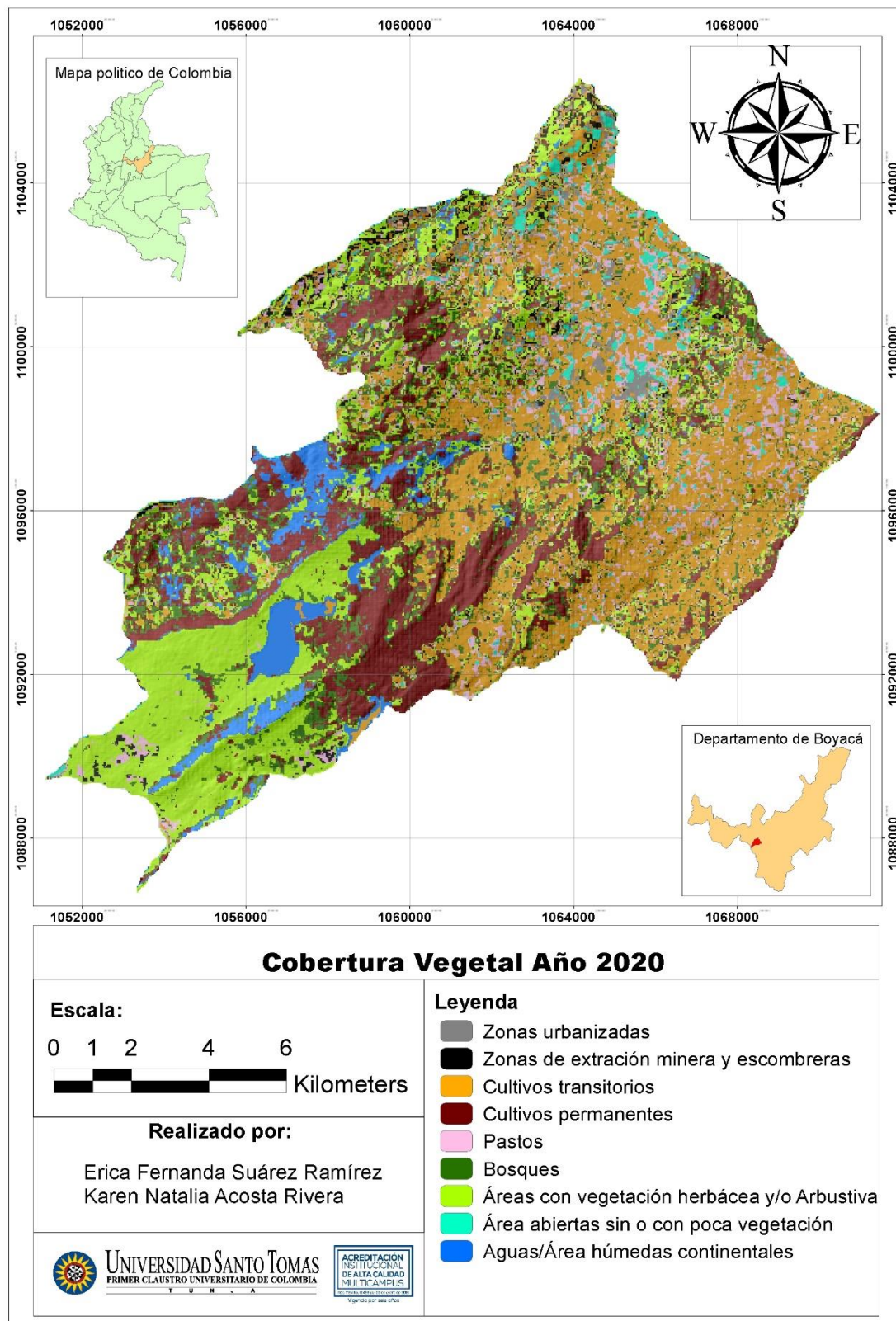




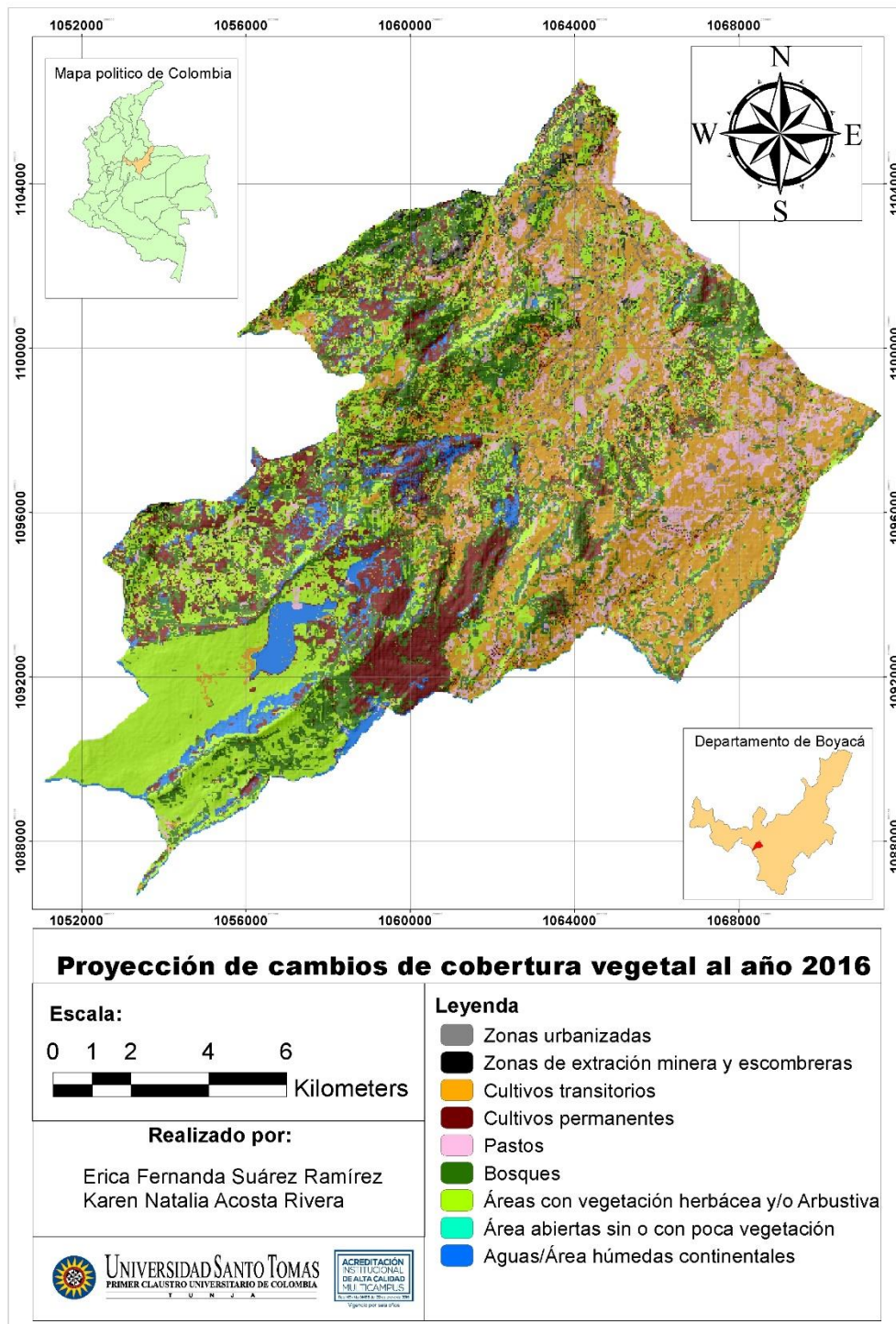


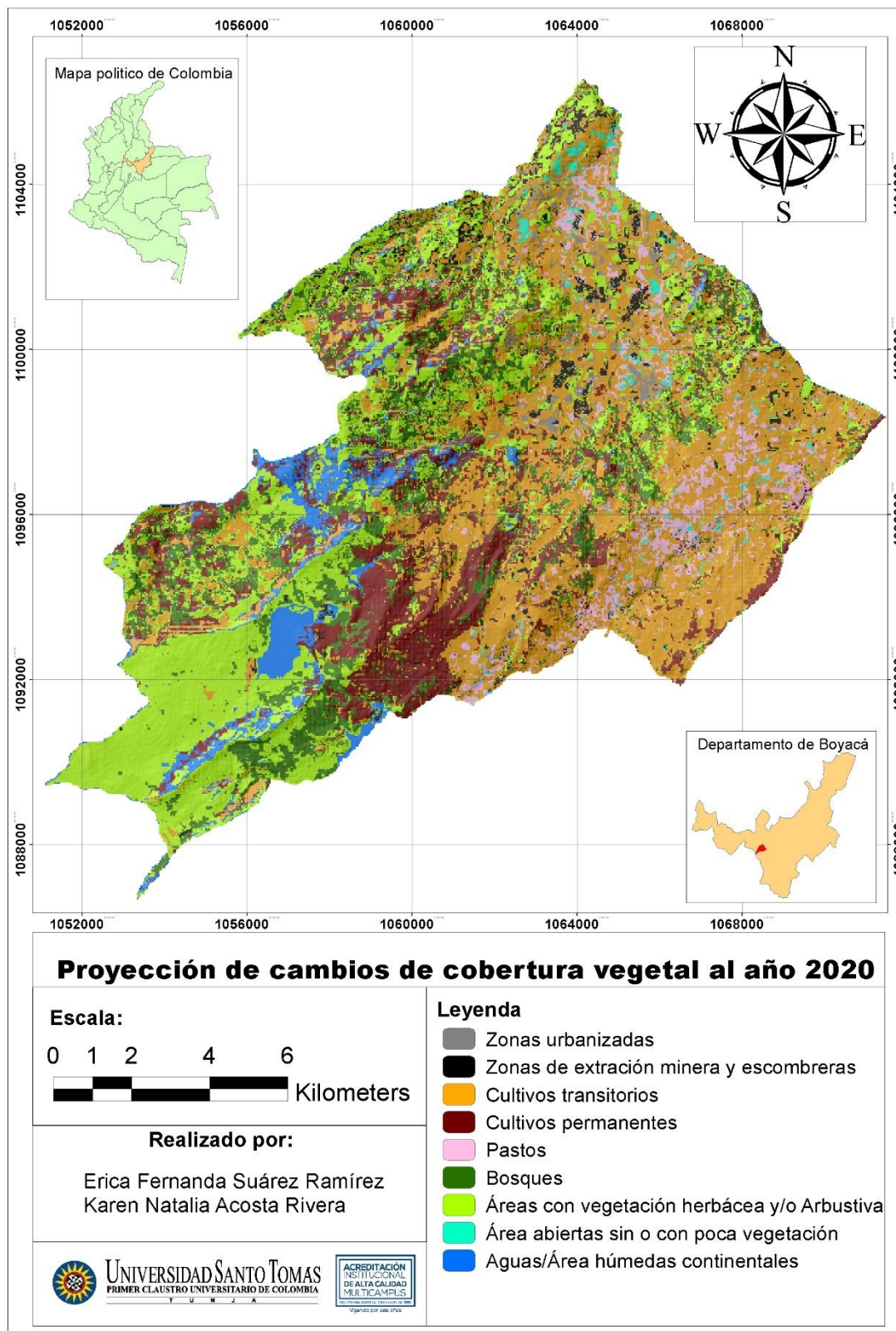


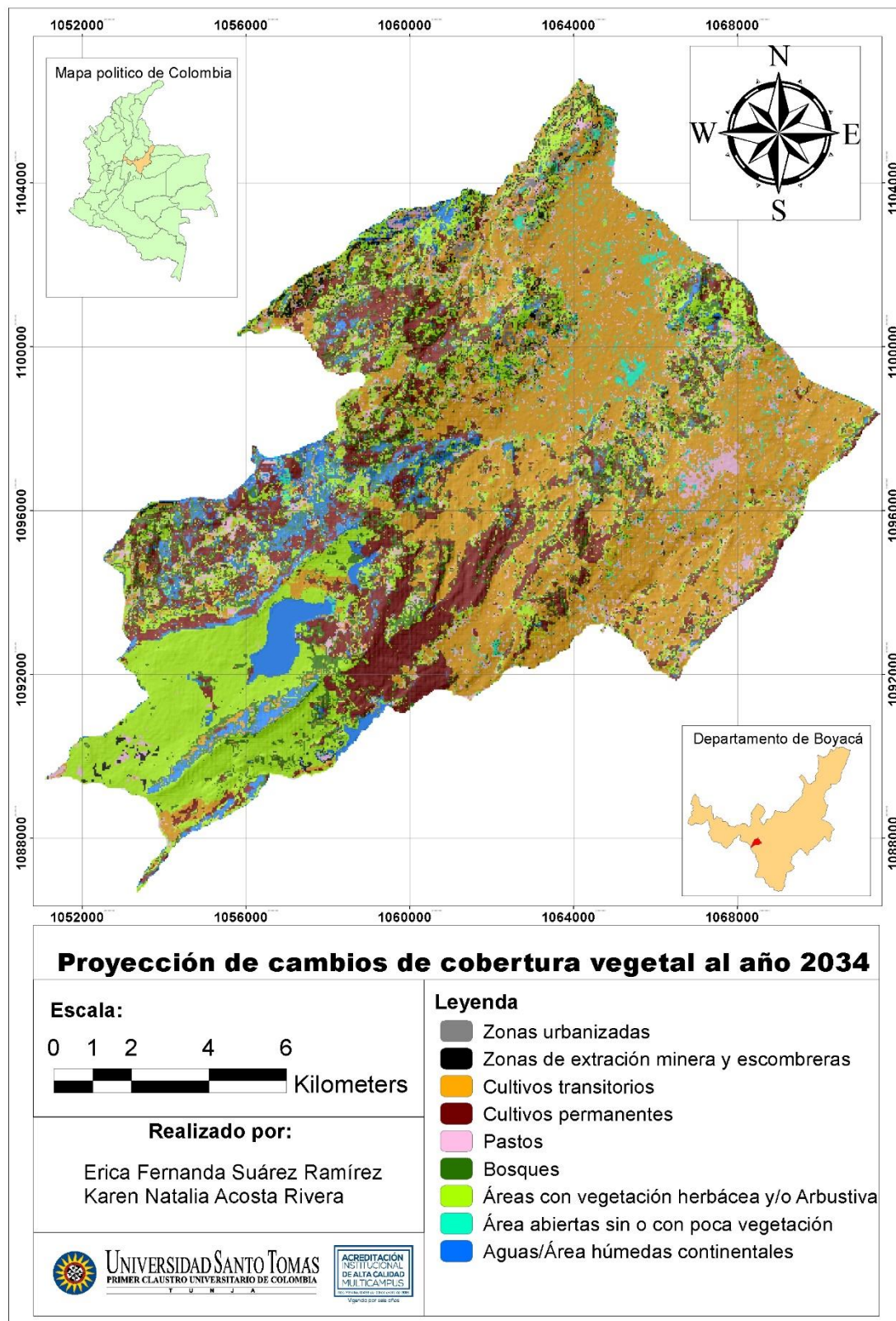




11.2. Anexo 2 – Proyección de imágenes







11.3. Anexo 3 – Porcentajes de cambio

1998				
COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PIXELES	TOTAL Ha	%
	Zonas Urbanizadas	293	26,340234	1,89
	Zonas de extracción minera y escombreras	3708	333,3433	1,93
	Cultivos Transitorios	48854	4391,8969	25,45
	Cultivos permanentes	21215	1907,1948	9,06
	Pastos	12979	1166,7915	6,76
	Bosques	20264	1821,7014	10,56
	Areas con vegetación herbacea y/o Arbustiva	63568	5714,6621	33,12
	Área abierta sin o con poca vegetación	2	0,1797968	0,0010
	Aguas/Area humeda continentales	21101	1896,9463	10,99

2000				
COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PIXELES	TOTAL Ha	%
	Zonas Urbanizadas	180	16,181714	1,90
	Zonas de extracción minera y escombreras	3978	357,61587	2,07
	Cultivos Transitorios	46340	4165,8923	24,14
	Cultivos permanentes	13389	1203,6498	10,98
	Pastos	23084	2075,2149	7,03
	Bosques	31513	2832,9686	16,42
	Areas con vegetación herbacea y/o Arbustiva	58688	5275,9579	30,58
	Área abierta sin o con poca vegetación	1	0,0898984	0,0005
	Aguas/Area humeda continentales	14819	1332,2045	7,72

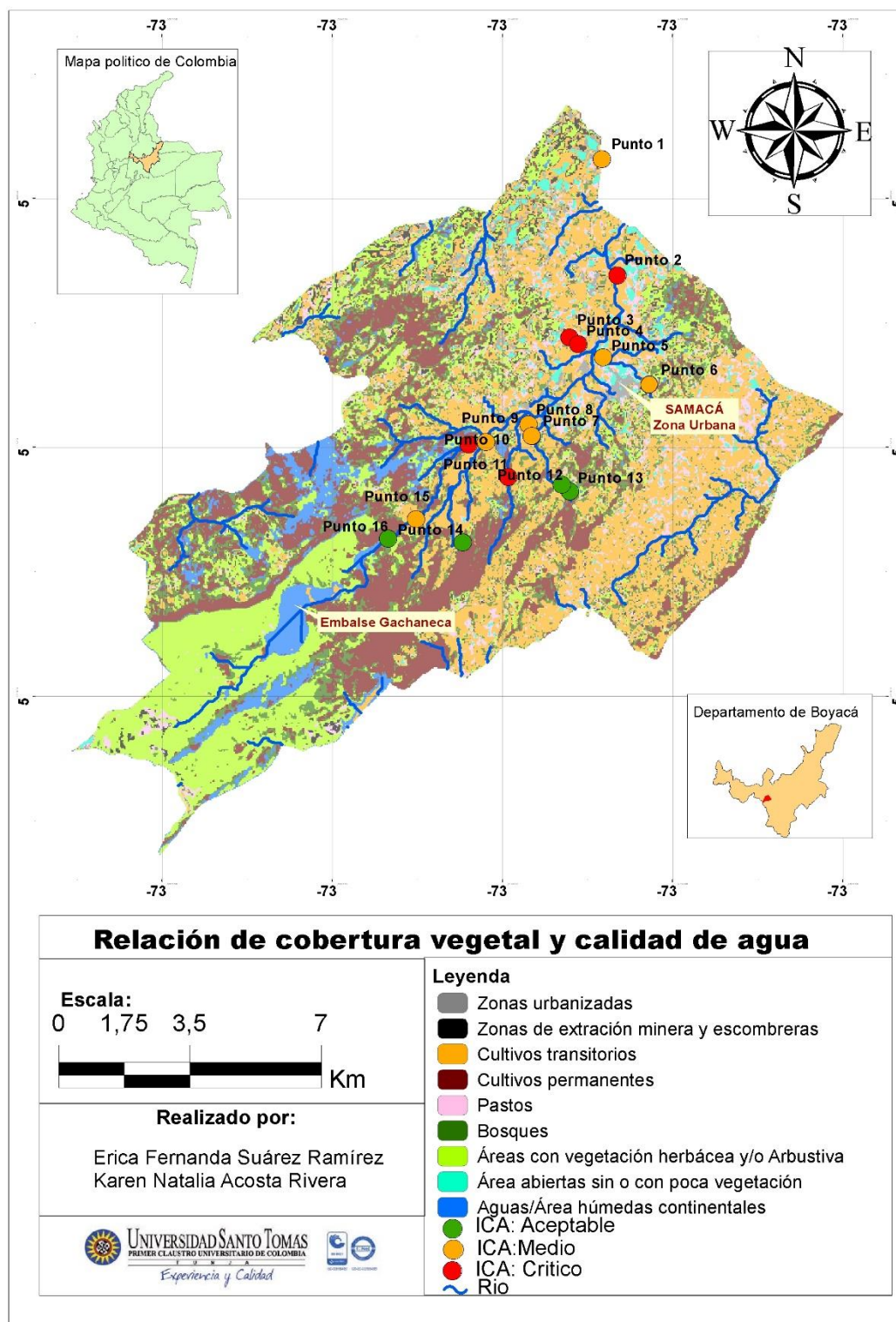
2007				
COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PIXELES	TOTAL Ha	%
	Zonas Urbanizadas	4221	379,46119	1,96
	Zonas de extracción minera y escombreras	4570	410,83573	4,03
	Cultivos Transitorios	48700	4378,0525	25,37
	Cultivos permanentes	22943	2062,5392	11,95
	Pastos	15617	1403,9435	9,14
	Bosques	28298	2543,9452	14,74
	Areas con vegetación herbacea y/o Arbustiva	55978	5032,3332	29,16
	Área abierta sin o con poca vegetación	5	0,449492	0,0026
	Aguas/Area humeda continentales	11560	1039,2256	6,02

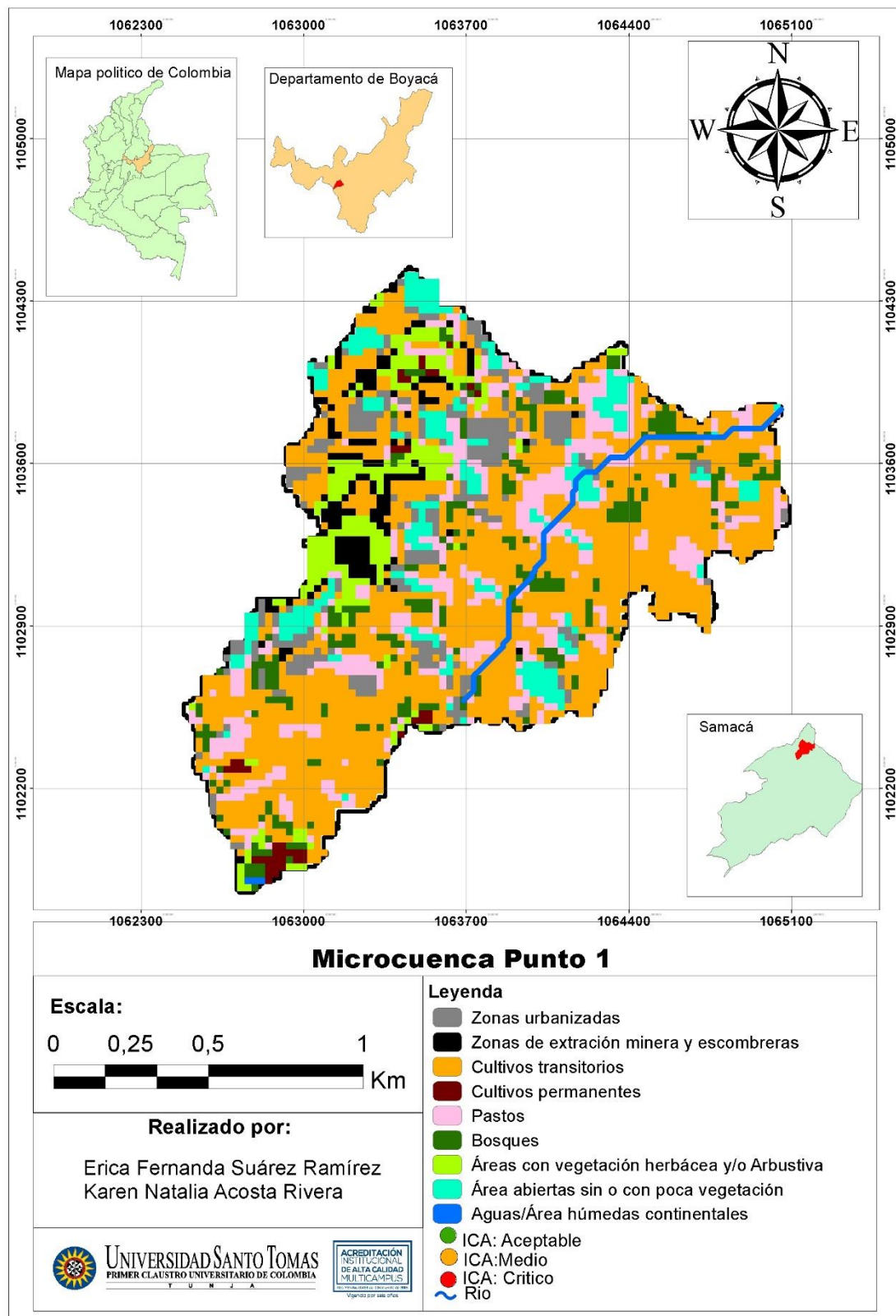
2010				
COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PIXELES	TOTAL Ha	%
	Zonas Urbanizadas	3871	347,99674	1,98
	Zonas de extracción minera y escombreras	4141	372,26931	7,45
	Cultivos Transitorios	56914	5116,4781	25,65
	Cultivos permanentes	29472	2649,4859	13,35
	Pastos	11114	999,13092	9,69
	Bosques	19809	1780,7976	10,32
	Areas con vegetación herbacea y/o Arbustiva	52296	4701,3272	27,25
	Área abierta sin o con poca vegetación	1507	135,4769	0,79
	Aguas/Area humeda continentales	12803	1150,9693	6,67

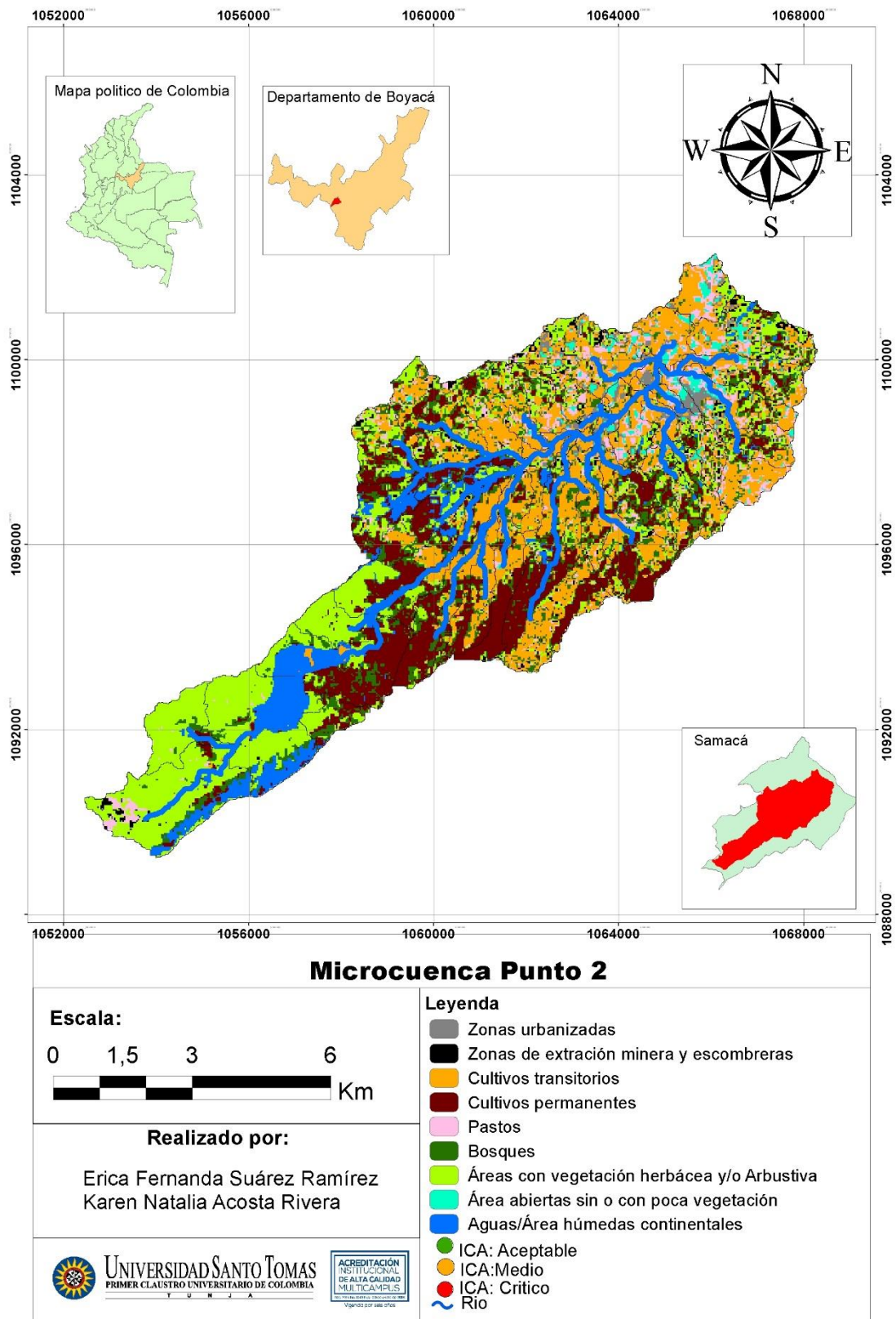
2016				
COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PIXELES	TOTAL Ha	%
	Zonas Urbanizadas	2674	240,38835	1,98
	Zonas de extracción minera y escombreras	5455	490,39582	8,26
	Cultivos Transitorios	54457	4895,5977	28,37
	Cultivos permanentes	26271	2361,7211	15,69
	Pastos	16721	1503,1913	8,71
	Bosques	22234	1998,8012	11,58
	Areas con vegetación herbacea y/o Arbustiva	45811	4118,336	23,87
	Área abierta sin o con poca vegetación	3680	330,82615	1,92
	Aguas/Area humeda continentales	14624	1314,6743	7,62

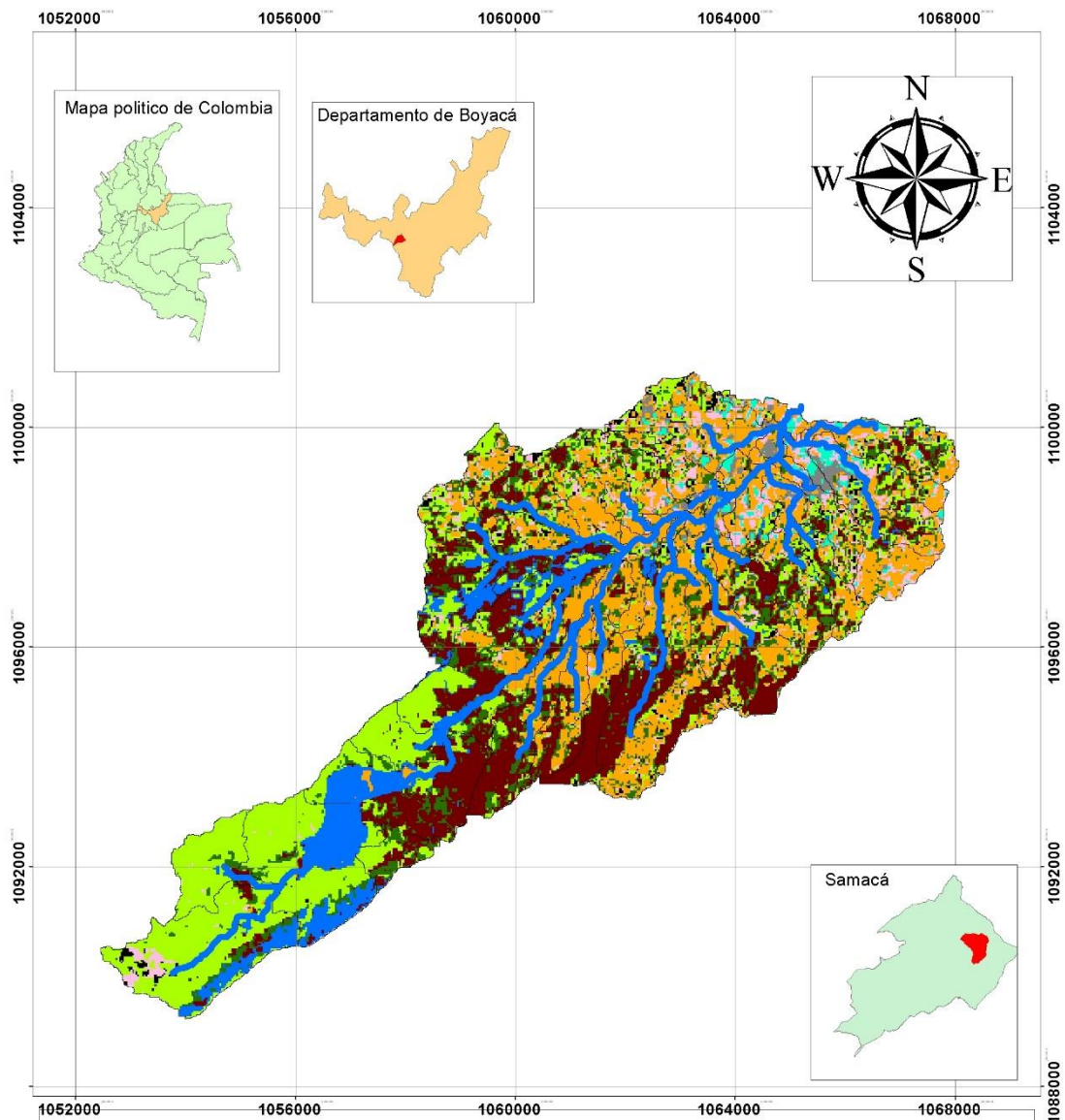
2020				
COLOR	ZONA- CORINE LAND COVER	PIXELES	TOTAL Ha	%
	Zonas Urbanizadas	3715	333,97259	1,96
	Zonas de extracción minera y escombreras	5262	473,04543	8,99
	Cultivos Transitorios	52103	4683,9768	29,56
	Cultivos permanentes	36544	3285,2475	19,04
	Pastos	14088	1266,4888	7,34
	Bosques	25322	2276,4075	13,19
	Areas con vegetación herbacea y/o Arbustiva	40961	3682,3288	21,34
	Área abierta sin o con poca vegetación	4260	382,96722	2,22
	Aguas/Area humeda continentales	9666	868,95803	5,04

11.4. Anexo 4 – Comparación de cobertura vegetal y calidad de agua









Microcuenca Punto 3

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera

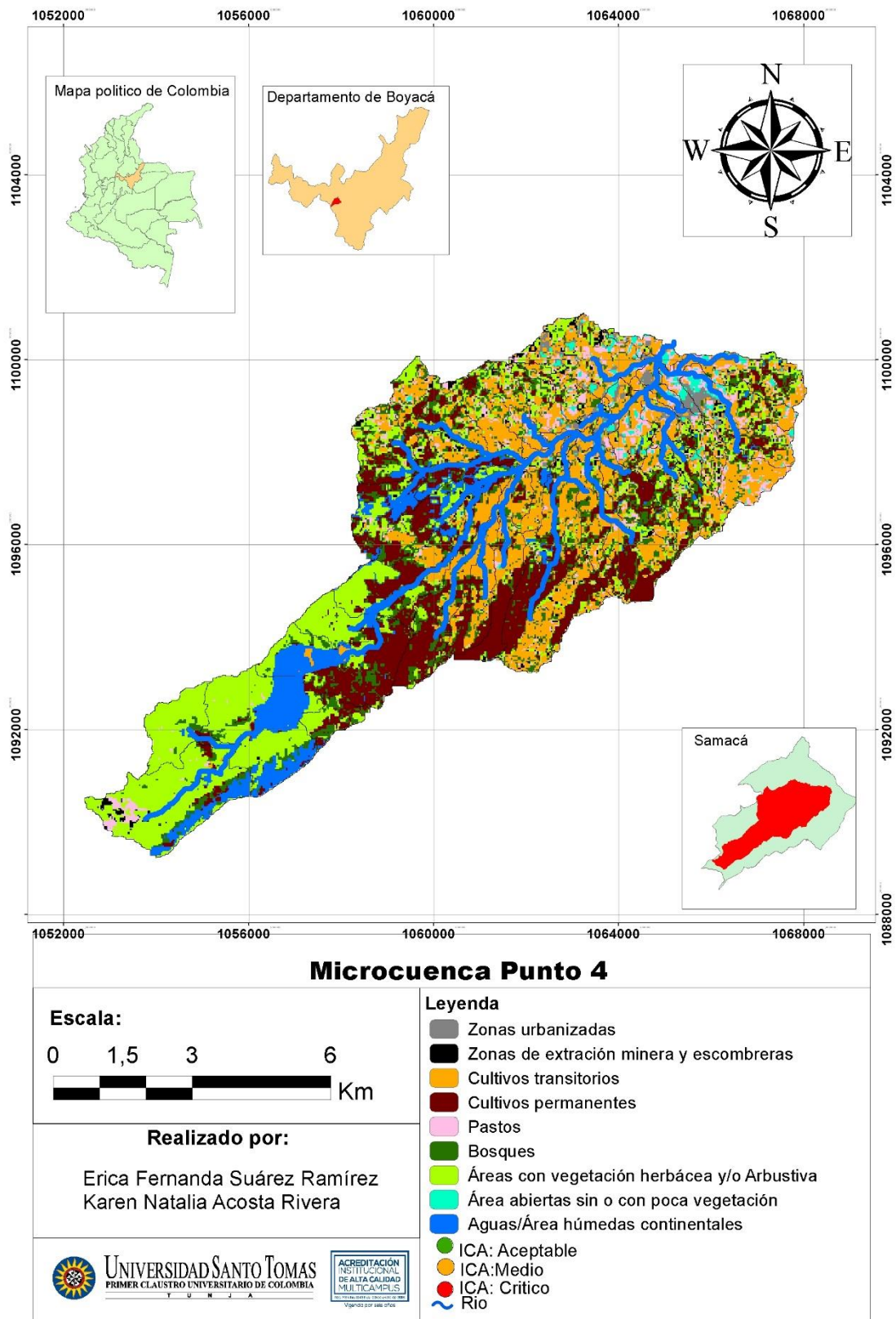


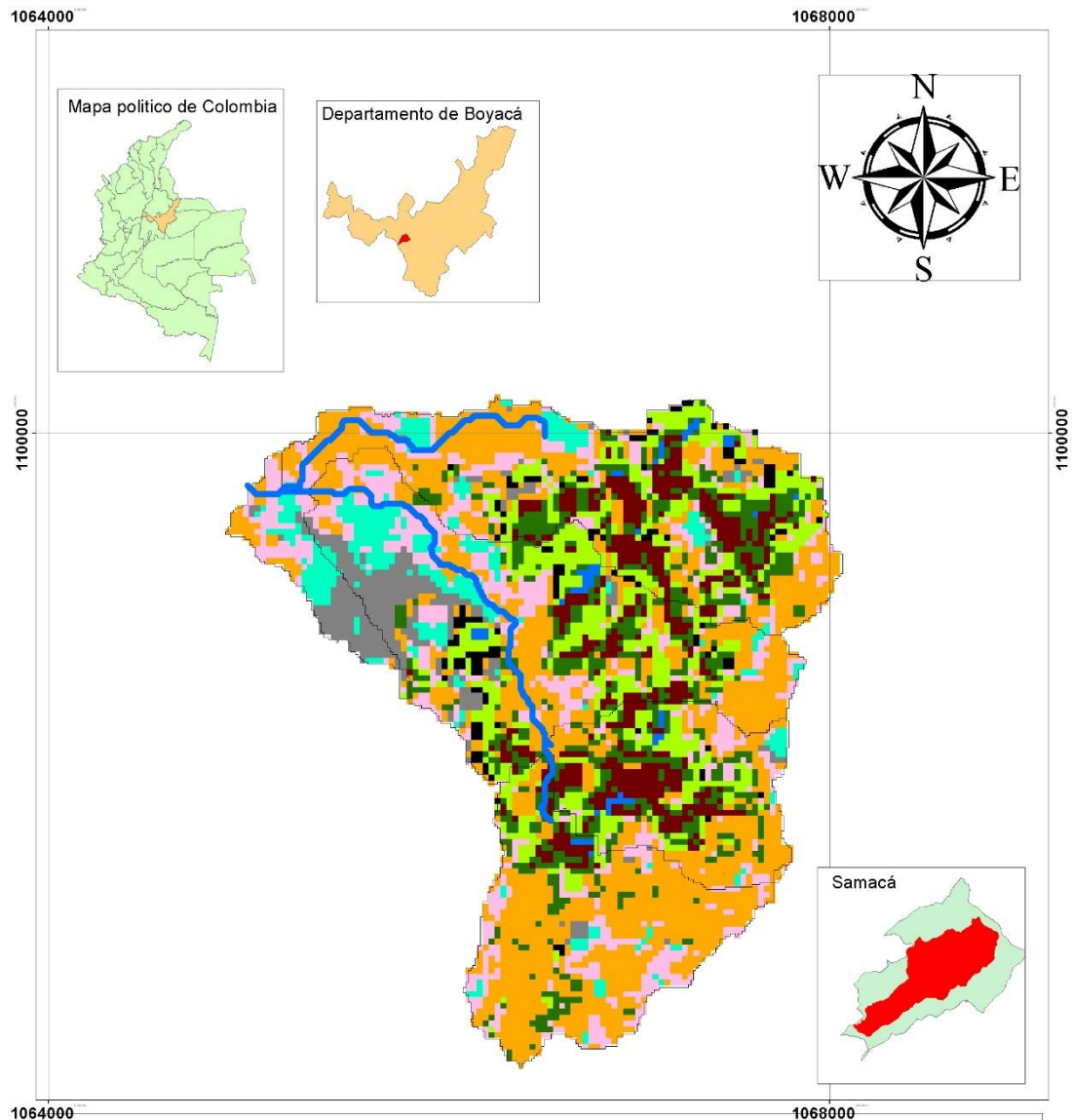
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
Y U N I V E R S I D A D



Leyenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- Río





Microcuenca Punto 5

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera

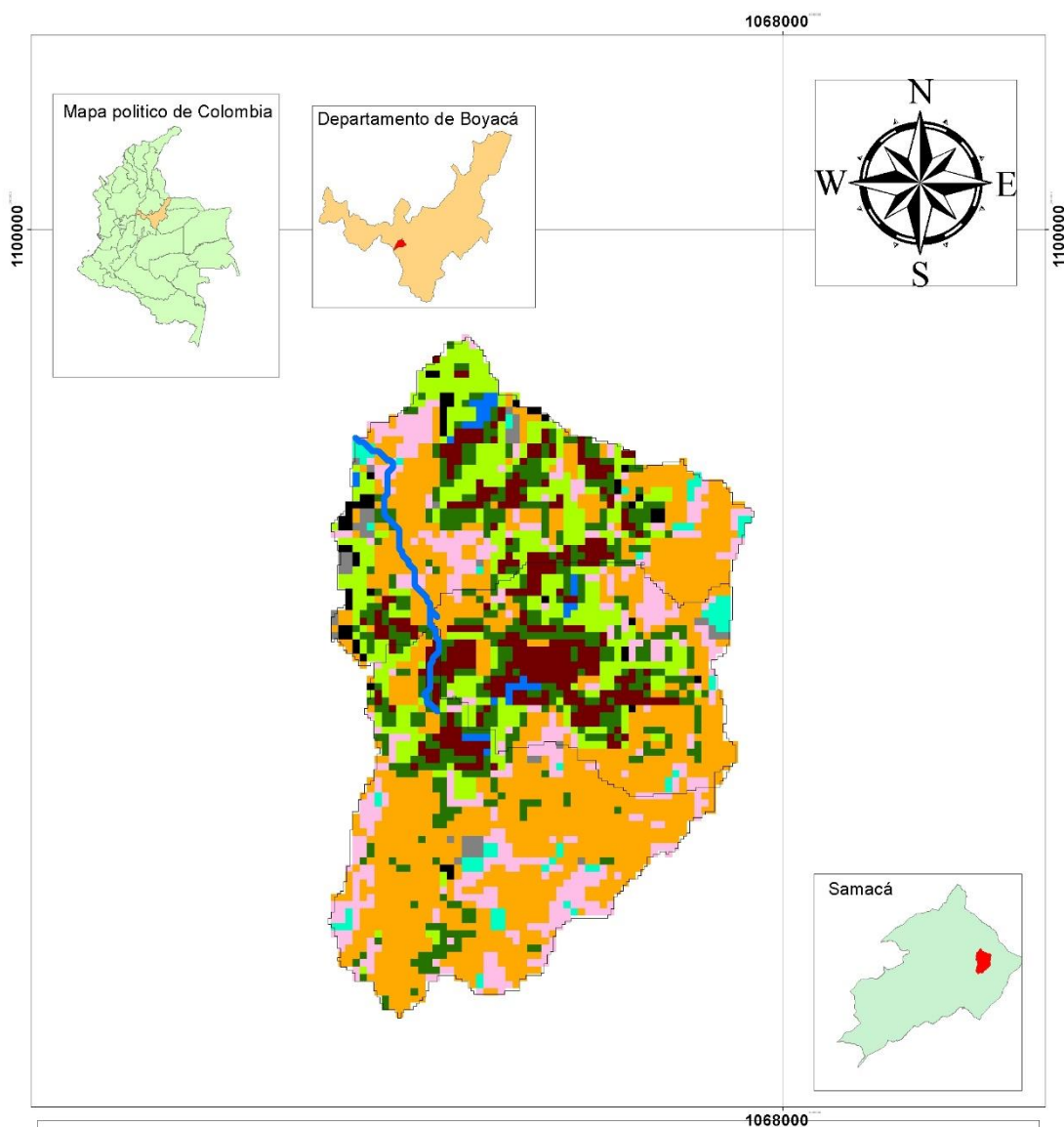


UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
Y U N I V E R S I D A D



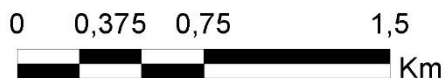
Leyenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- ~ Río



Microcuenca Punto 6

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera

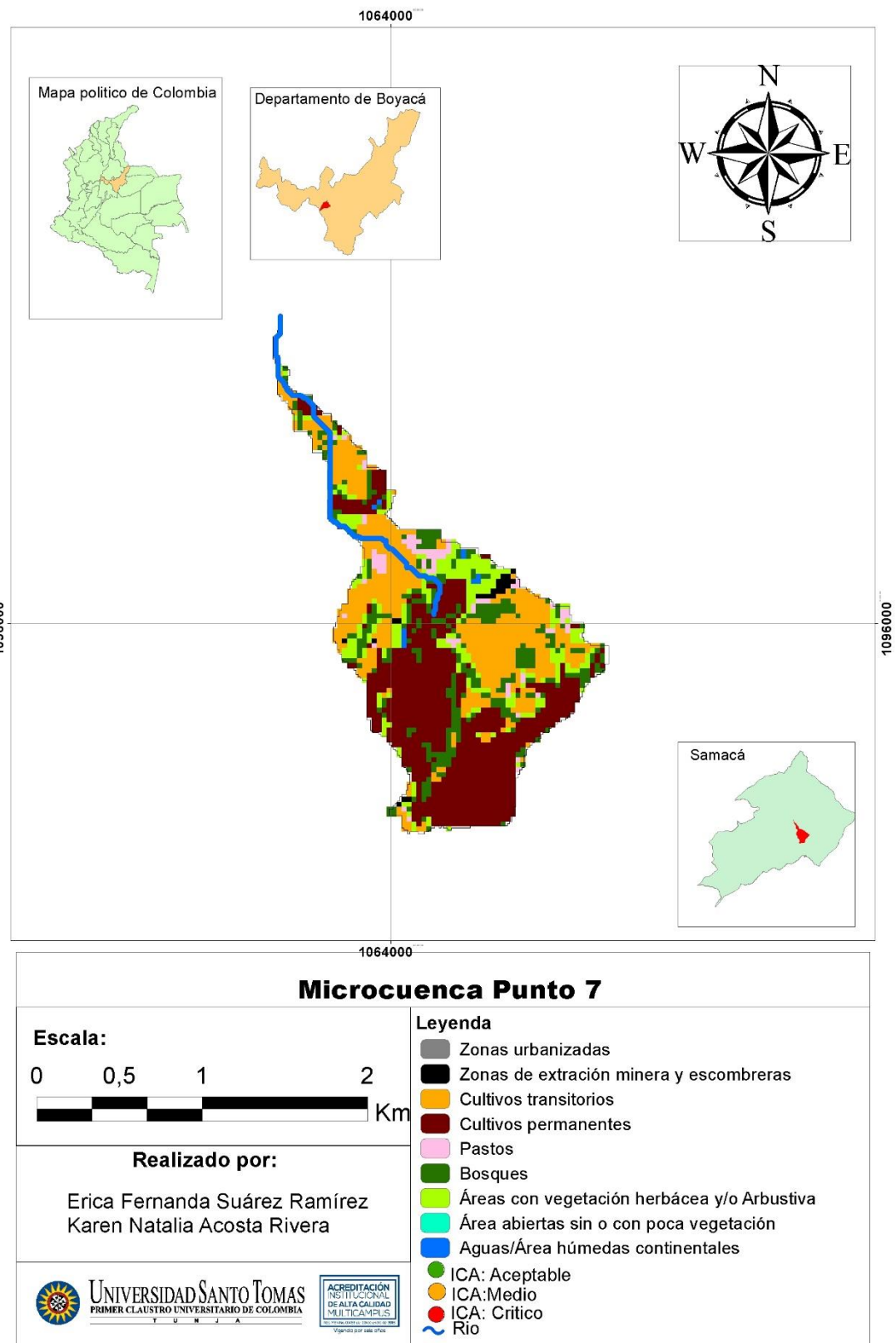


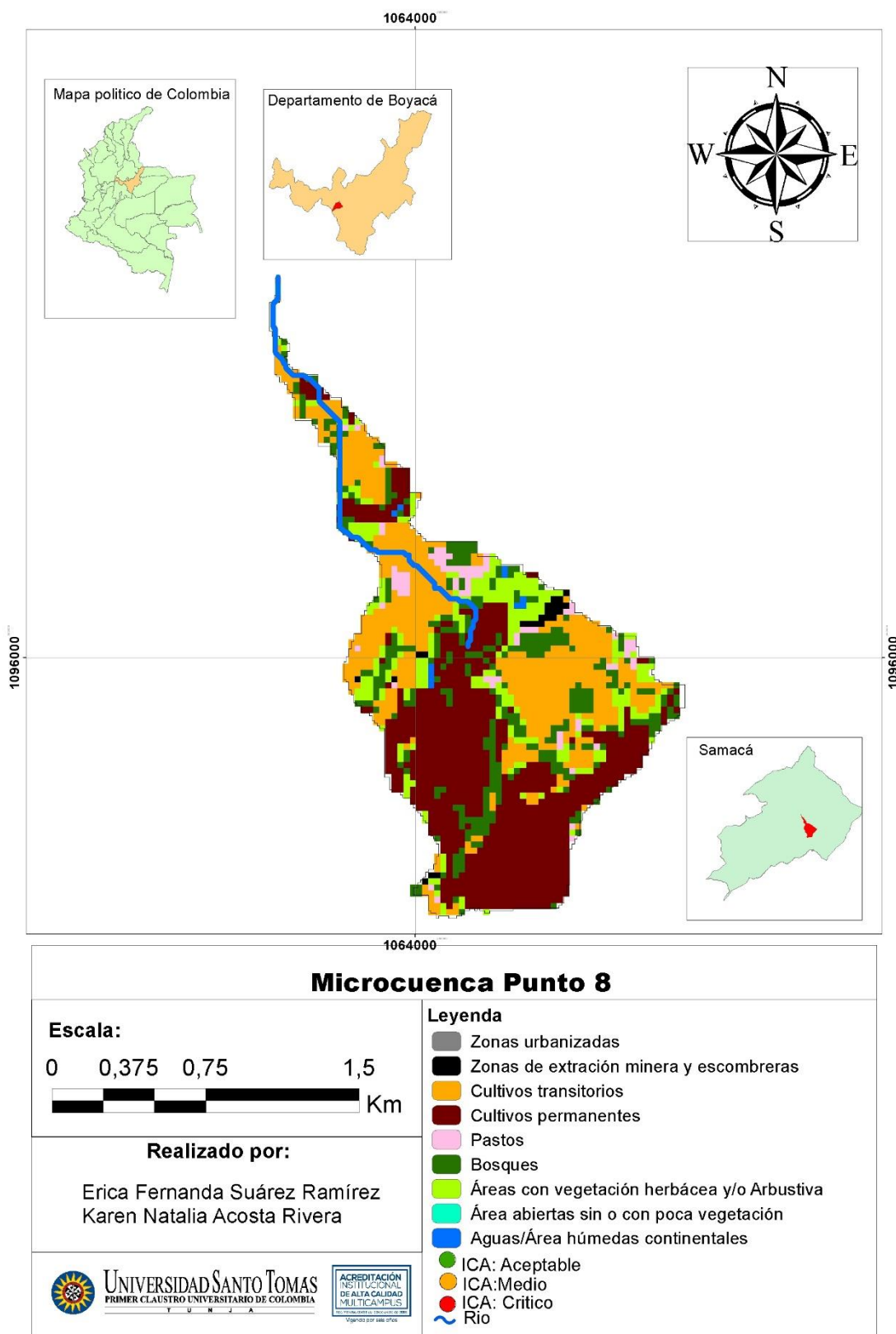
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

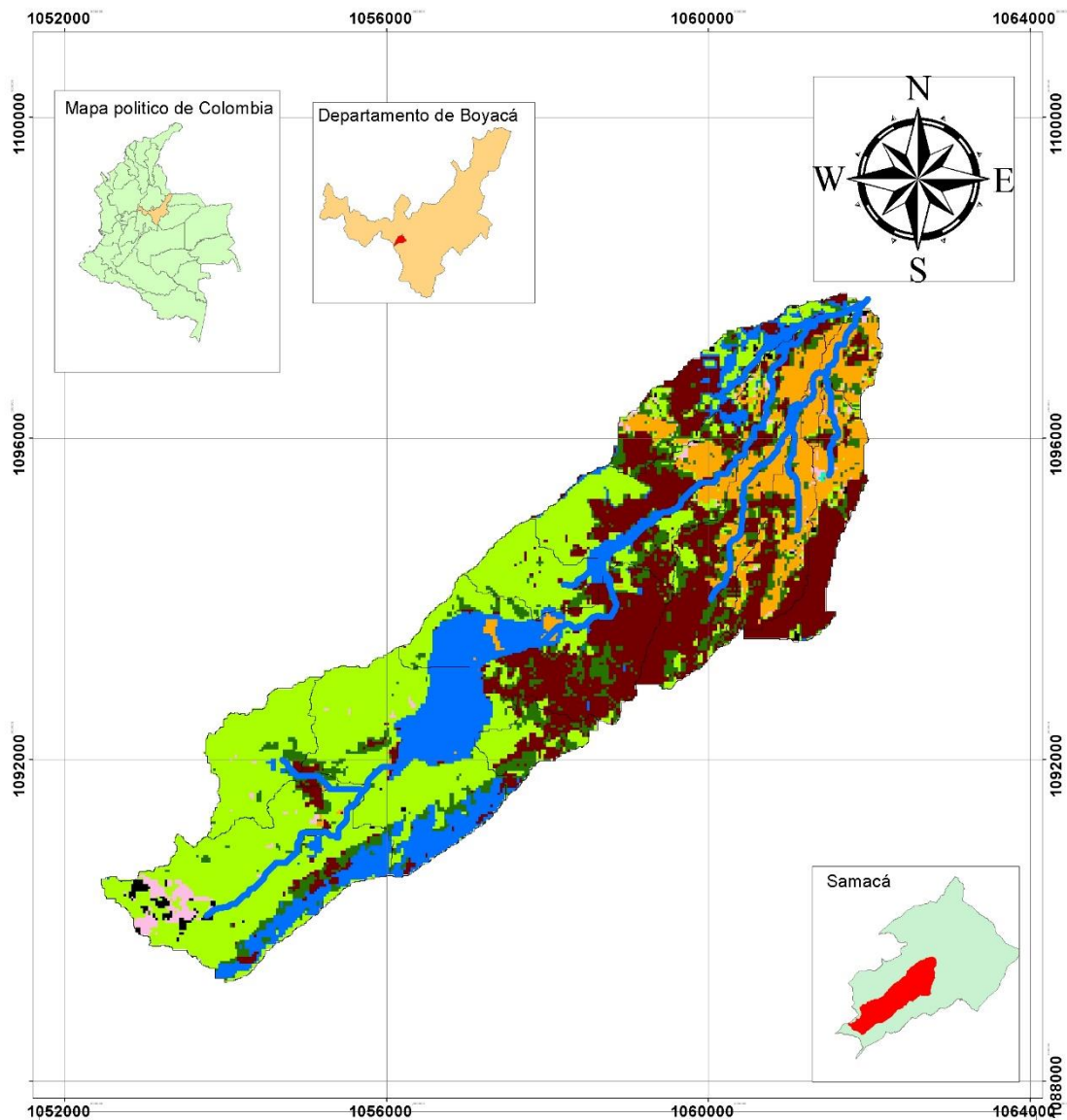


Leyenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- ~ Río







Microcuenca Punto 9

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera

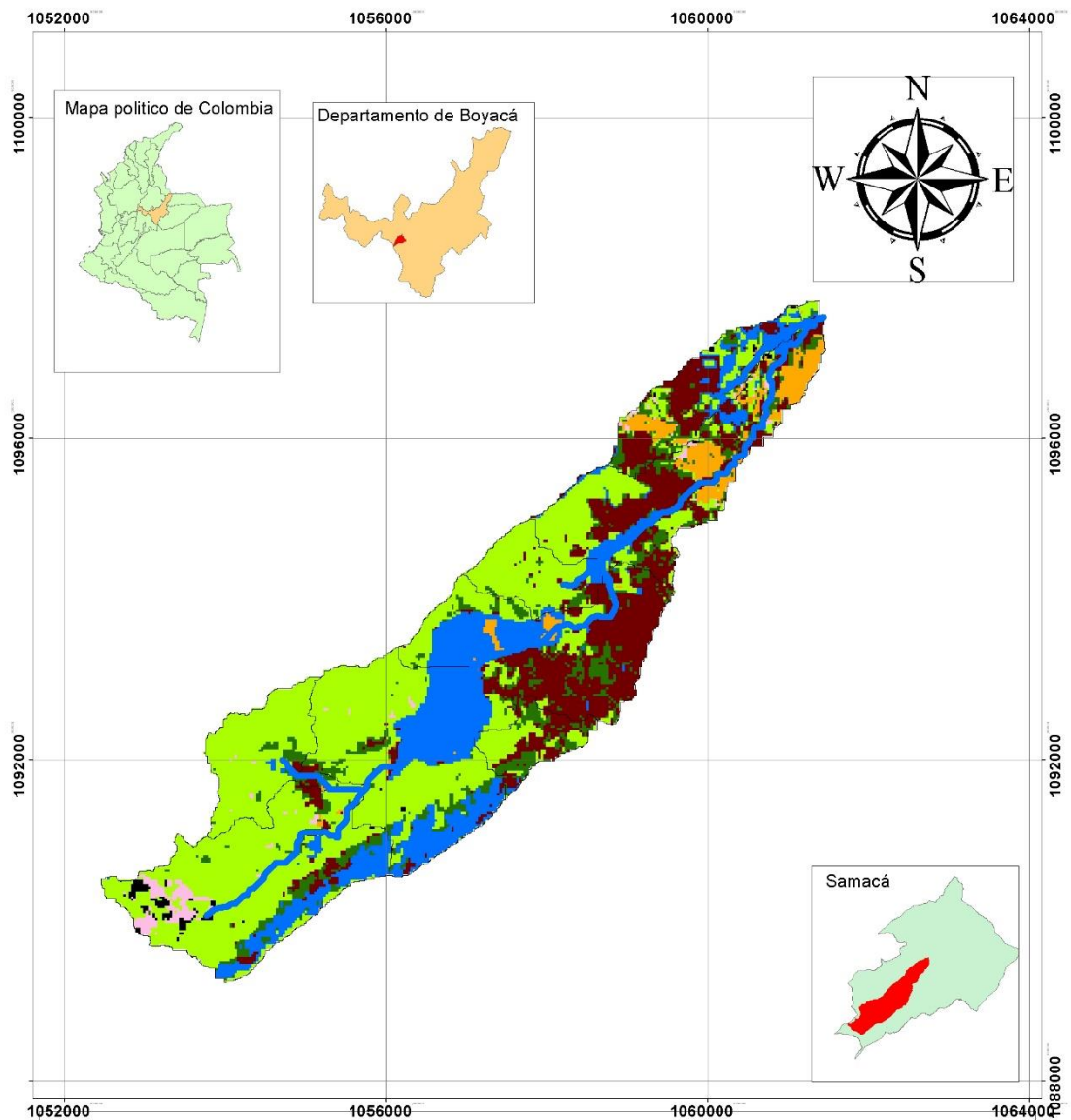


UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
Y U N I V E R S I D A D



Legenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- Río



Microcuenca Punto 10

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera

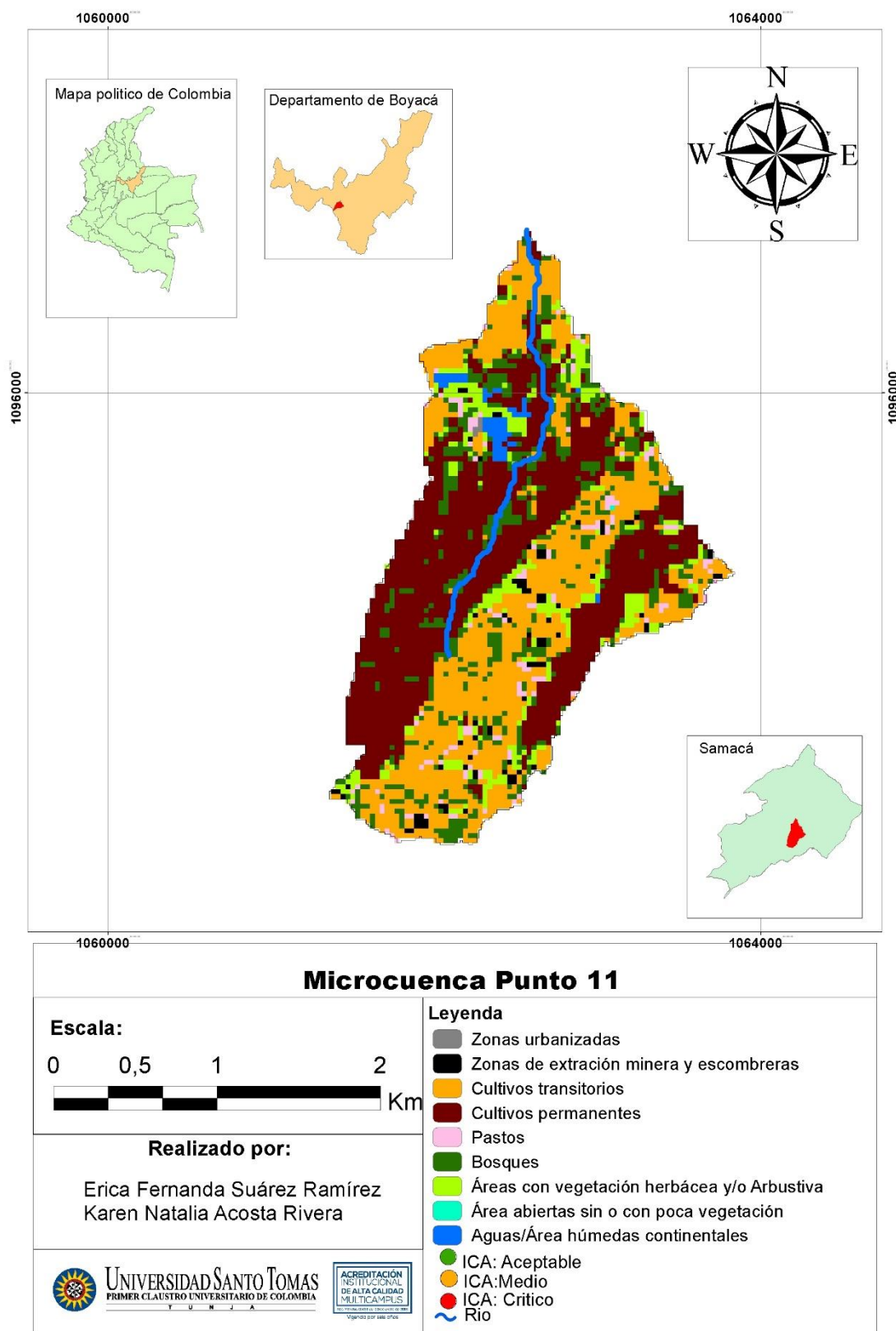


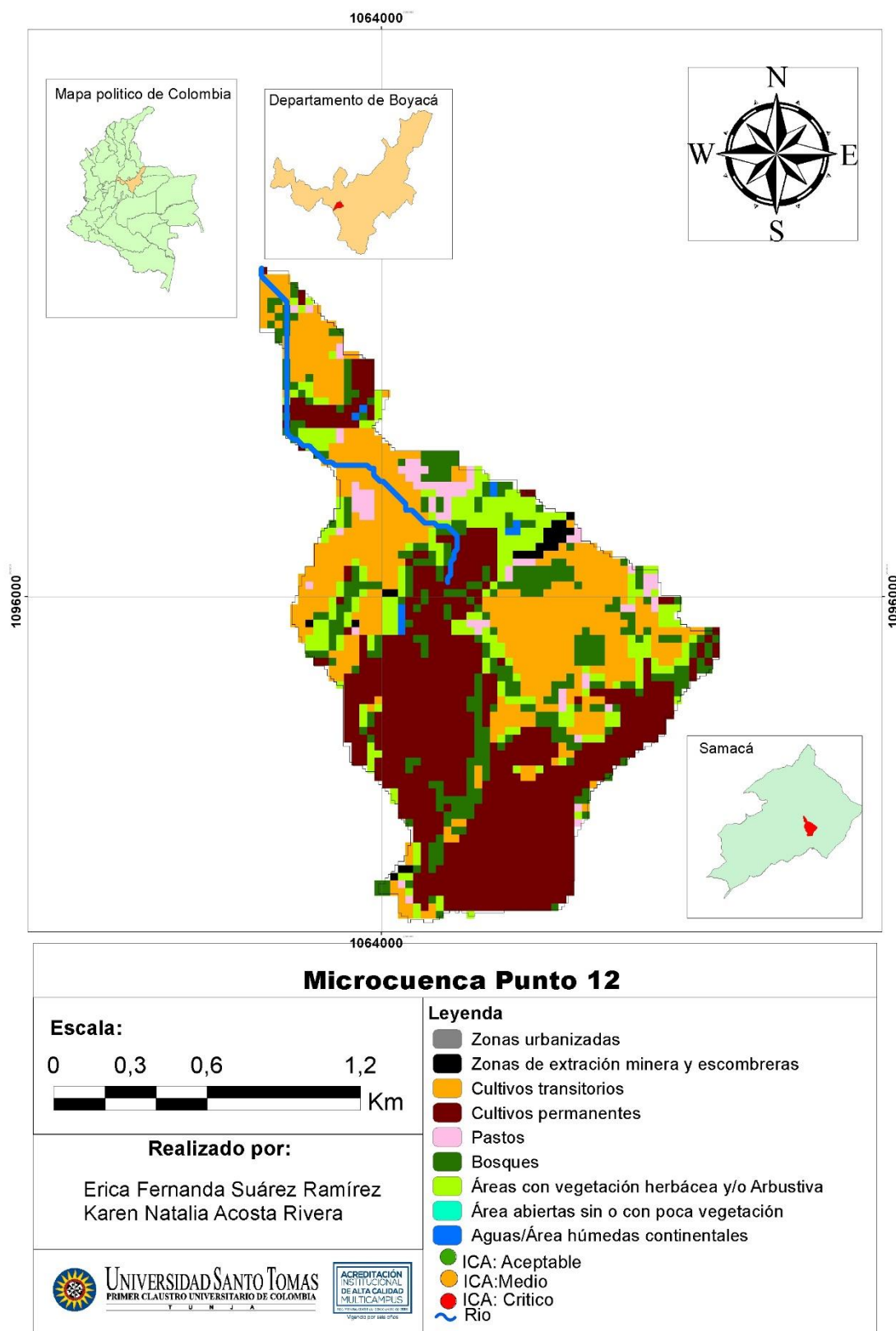
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
Y U N I V E R S I D A D

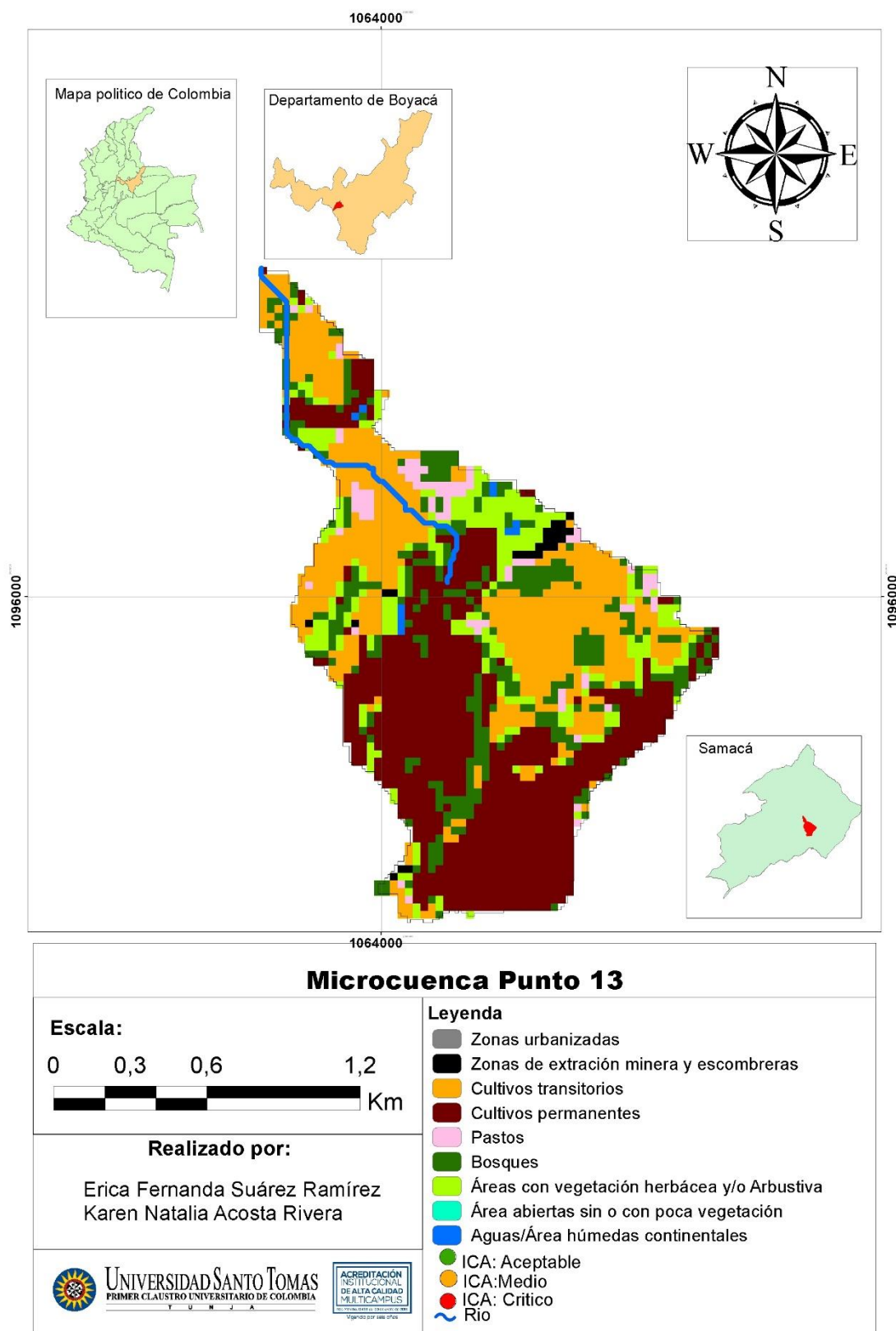


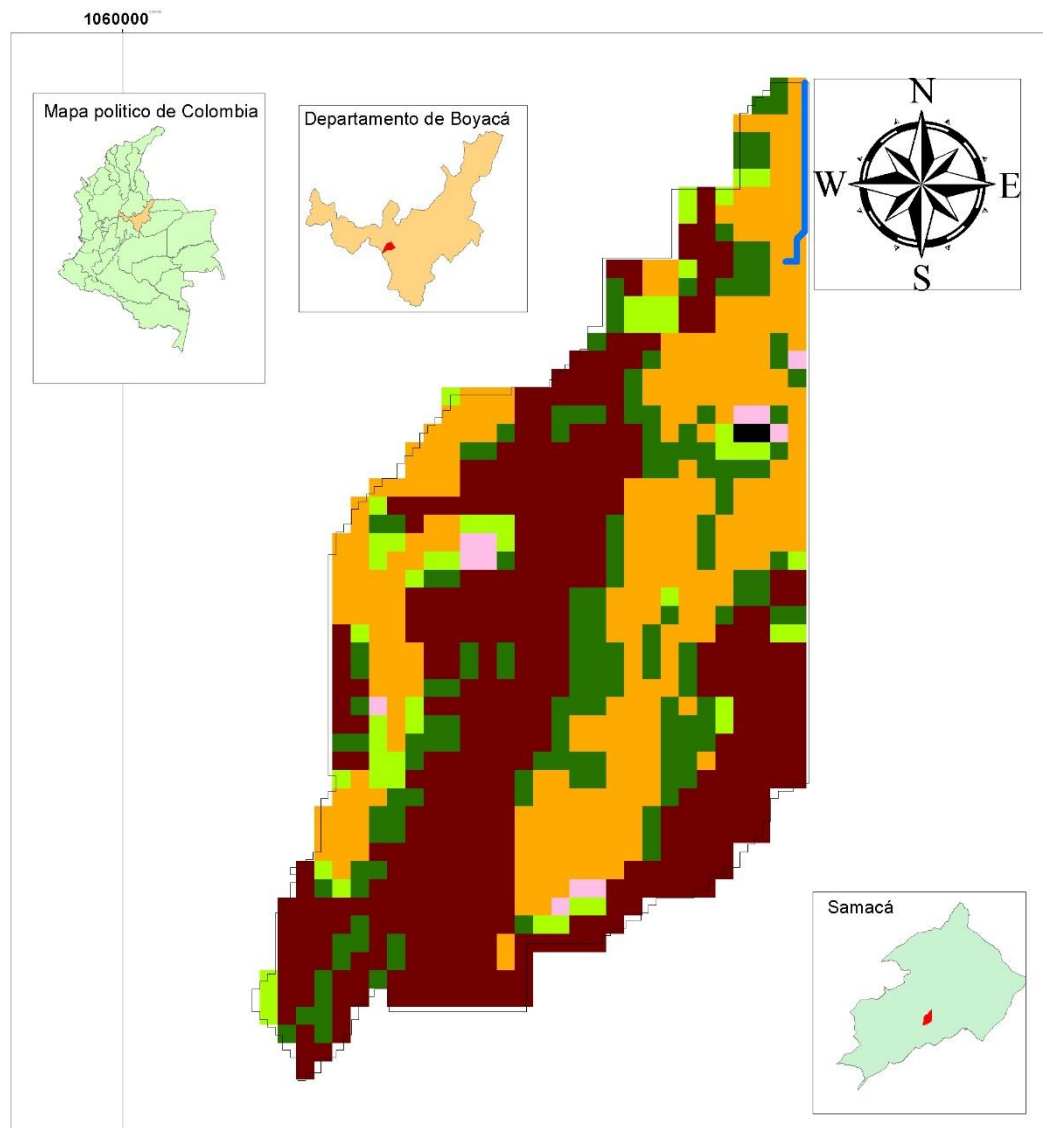
Legenda

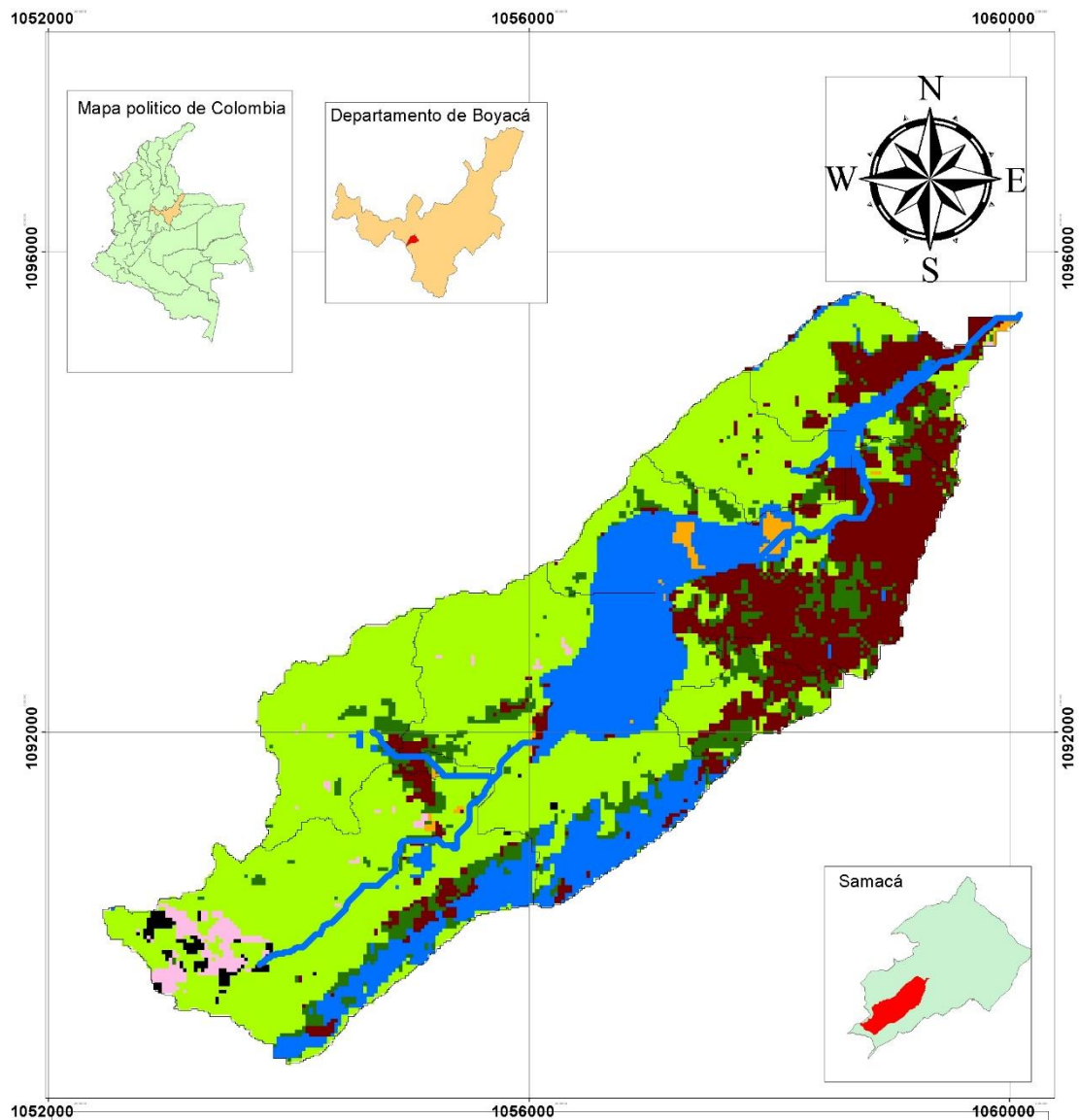
- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- Río











Microcuenca Punto 15

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera

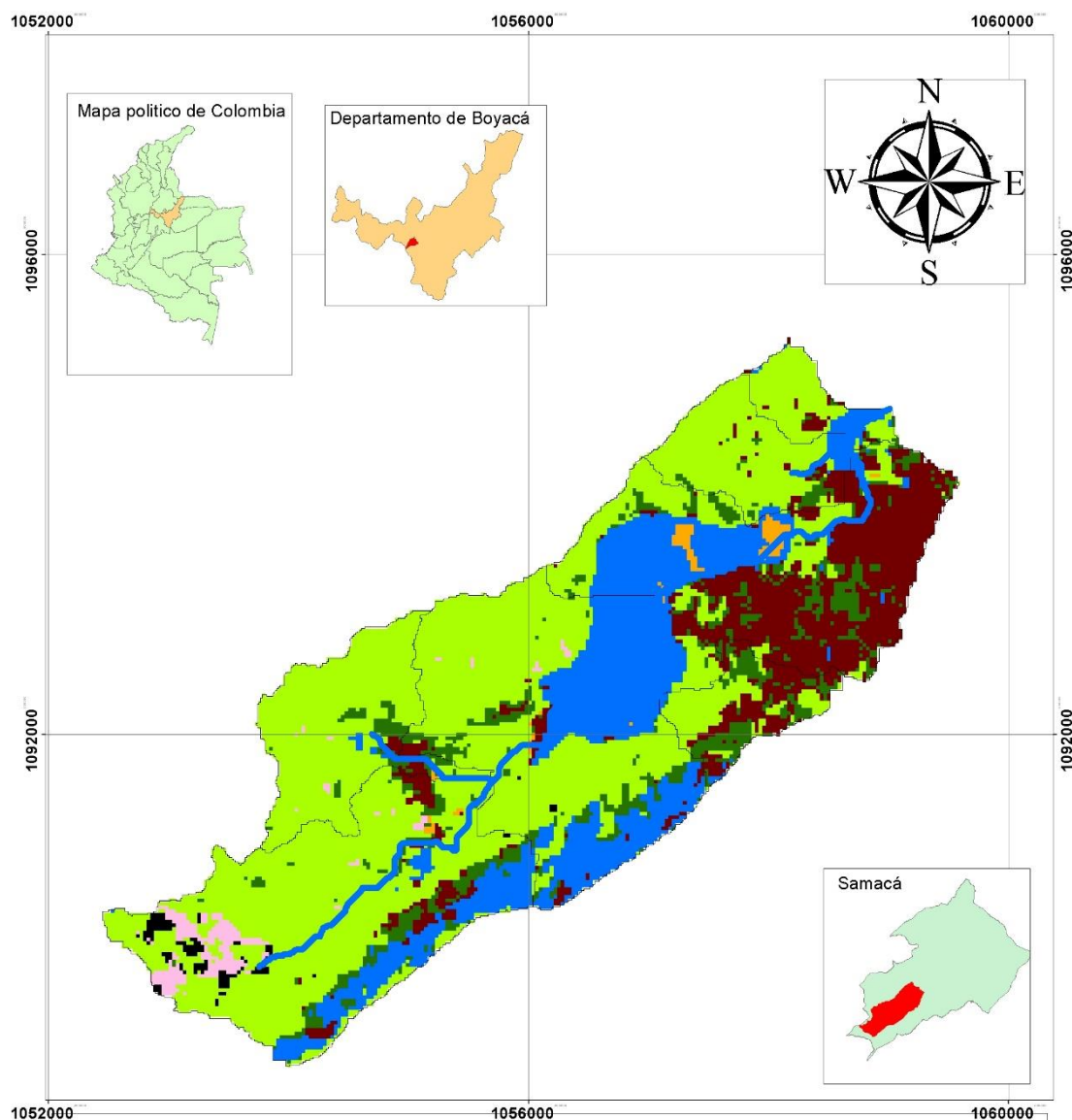


UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



Legenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- ~ Río



Microcuenca Punto 16

Escala:



Realizado por:

Erica Fernanda Suárez Ramírez
Karen Natalia Acosta Rivera



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
Y U N I V E R S I D A D



Legenda

- Zonas urbanizadas
- Zonas de extracción minera y escombreras
- Cultivos transitorios
- Cultivos permanentes
- Pastos
- Bosques
- Áreas con vegetación herbácea y/o Arbustiva
- Área abiertas sin o con poca vegetación
- Aguas/Área húmedas continentales
- ICA: Aceptable
- ICA: Medio
- ICA: Crítico
- Río

12. BIBLIOGRAFÍA

Areendran, Rao, P., Raj, K., Mazumdar, S., & Puri, K. (Mayo de 2013). Land use/land cover change dynamics analysis in mining areas of Singrauli district in Madhya Pradesh, India.

Obtenido de [http://apps.webofknowledge.com.crai-](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=5&doc=49&cacheurlFromRightClick=no)

[ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=5&doc=49&cacheurlFromRightClick=no](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=5&doc=49&cacheurlFromRightClick=no)

Bayramov, E., Buchroithner, M., & Bayramov, R. (Marzo de 2016). Quantitative assessment of 2014-2015 land-cover changes in Azerbaijan using object-based classification of LANDSAT-8 timeseries. Obtenido de [http://apps.webofknowledge.com.crai-](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=4&doc=34&cacheurlFromRightClick=no)

[ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=4&doc=34&cacheurlFromRightClick=no](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=4&doc=34&cacheurlFromRightClick=no)

Cakir, G., Sivrikaya, F., Terzioglu, S., Keles, S., & Baskent, E. Z. (Septiembre de 2007).

Monitoring thirty years of land cover change: Secondary forest succession in the Artvin Forest Planning Unit of Northeastern Turkey. Obtenido de

[http://apps.webofknowledge.com.crai-](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=7&doc=68&cacheurlFromRightClick=n)

[ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=7&doc=68&cacheurlFromRightClick=n](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=7&doc=68&cacheurlFromRightClick=n)

Chauhan, & Nayak, S. (Septiembre de 2005). Land use/land cover changes near Hazira region, Gujarat using remote sensing satellite data. Obtenido de

[http://apps.webofknowledge.com.crai-](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=8&doc=71&cacheurlFromRightClick=n)

[ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=8&doc=71&cacheurlFromRightClick=n](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=8&doc=71&cacheurlFromRightClick=n)

Consorcio Rio Garagoa. (2018). Actualizacion POMCA Rio Garagoa. Obtenido de

<https://www.car.gov.co/uploads/files/5c1aa076c0071.pdf>

Consorcio Rio medio y bajo Suárez. (2018). POMCA rio medio y bajo Suárez.

Dixon, & Uddmeri. (5 de marzo de 2016). GIS and Geocomputation for Water Resource Science and Engineering. Obtenido de [https://www-scopus-com.crai-](https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976421741&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=17213db57f8030a2a238f45deadabc54&sot=a&sdt=sisr&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&ref=%28%28)

[ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976421741&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=17213db57f8030a2a238f45deadabc54&sot=a&sdt=sisr&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&ref=%28%28)

[84976421741&origin=resultslist&sort=plf-](https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976421741&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=17213db57f8030a2a238f45deadabc54&sot=a&sdt=sisr&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&ref=%28%28)

[f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=17213db57f8030a2a238f45deadabc54&sot=a&sdt=sisr&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&ref=%28%28](https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976421741&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=17213db57f8030a2a238f45deadabc54&sot=a&sdt=sisr&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&ref=%28%28)

Dong, Cuo, Yang, Liu, Wang, Ding, & Zhao. (17 de Diciembre de 2007). Species composition, plant cover and diversity of recently reforested wild lands near Dabao Highway in Longitudinal Range-Gorge Region of Yunnan Province, China. Obtenido de

[http://apps.webofknowledge.com.crai-](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=6E9tXw6VKvBfJGbPIQh&page=1&doc=7&cacheurlFromRightClick=no)

[ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=6E9tXw6VKvBfJGbPIQh&page=1&doc=7&cacheurlFromRightClick=no](http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=6E9tXw6VKvBfJGbPIQh&page=1&doc=7&cacheurlFromRightClick=no)

Gulersoy, & Celik. (Septiembre de 2017). Temporal change of land use in the Protection Basin of Tahtali Dam (1990-2015), (Izmir, Turkey). Obtenido de

http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=2&doc=17&cacheurlFromRightClick=no

Hubacek, K., & Sun, L. (Diciembre de 2001). A scenario analysis of China's land use and land cover change: incorporating biophysical information into input–output modeling. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/abs/pii/S0954349X01000297>

Ikiel , C., Ustaoglu , B., Dutucu, A. A., & Kilic, D. E. (Febrero de 2013). Remote sensing and GIS-based integrated analysis of land cover change in Duzce plain and its surroundings (north western Turkey). Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=6&doc=51&cacheurlFromRightClick=no

ITICHA , B., & TAKELE, CHALSISSA. (1 de OCTUBRE de 2019). Digital soil mapping for site-specific management of soils. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=9&SID=8CeJAvPre8YOGGCC7HI&page=3&doc=23&cacheurlFromRightClick=no

JUN, Z., YANG, L., DONGMEI, Z., QIANG, Z., & WANNAI, C. (22 de SEPTIEMBRE de 2018). Spatial-temporal character of vegetation cover and its influence factors in the Shule River Basin China, during 1985–2011. Obtenido de <https://www-tandfonline-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/doi/full/10.1080/10807039.2018.1528437>

kim, & Newell. (2 de Octubre de 2015). The ‘Geographic Emission Benchmark’ model: a baseline approach to measuring emissions associated with deforestation and degradation. Obtenido de <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85027917512&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&nlo=&nlr=&nls=&sid=17213db57f8030a2a238f45deadabc54&sot=a&sdt=sisr&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&ref=%28%28>

Kudu, Halder, & Mandal. (2019). Forest cover change analysis in sundarban delta using remote sensing data and GIS. Obtenido de <https://www-scopus-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85065308076&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=1aed11207b4512f190e7842e9c10f370&sot=a&sdt=a&sl=28&s=%28change+of+vegetation+cover%29&relpos=1&citeCnt=0&searchTer>

Kumpula , T., Pajunen, A., Kaarlejarvi, E., Forbes , B., & Stammler , F. (Mayo de 2011). Land use and land cover change in Arctic Russia: Ecological and social implications of industrial development. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=6&doc=57&cacheurlFromRightClick=no

- Lambin , E., Tuner, Helmut , G., Agbola, S., Angelsen, A., Bruce, J., . . . Xu, J. (Diciembre de 2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/abs/pii/S0959378001000073>
- Lasanta , T., & Vicente Serrano , S. (Septiembre de 2012). Complex land cover change processes in semiarid Mediterranean regions: An approach using Landsat images in northeast Spain. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=6&doc=52&cacheurlFromRightClick=no
- Marchal , J., Cumming , S., & McIntire, E. (13 de Junio de 2017). Land cover, more than monthly fire weather, drives fire-size distribution in Southern Quebec forests: Implications for fire risk management. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=2&doc=19&cacheurlFromRightClick=no
- Masuma, C., Mohammad , E. H., & Abdullah, A. M. (13 de Diciembre de 2018). Land use/land cover change assessment of Halda watershed using remote sensing and GIS. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S1110982318300140>
- Min, M., Zhao , H., & Miao , C. (Junio de 2018). Spatio-Temporal Evolution Analysis of the Urban Heat Island: A Case Study of Zhengzhou City, China. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=1&doc=8&cacheurlFromRightClick=no
- Nyland , K., Shiklomanow , N., & Streletskiy, D. (2017). Climatic- and anthropogenic-induced land cover change around Norilsk, Russia. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=3&doc=22&cacheurlFromRightClick=no
- Ochege , F. U., George, R. T., Dike , E. C., & Okpala, O. C. (Diciembre de 2017). Geospatial assessment of vegetation status in Sagbama oilfield environment in the Niger Delta region, Nigeria. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=5&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=2&doc=14&cacheurlFromRightClick=no
- Pervaiz, S., Javid , K., Khan, F. Z., Talib, B., Siddiqui, R., & Ranjha, M. M. (Abril de 2019). Spatial Analysis of Vegetation Cover in Urban Green Space under New Government Agenda of Clean and Green Pakistan to Tackle Climate Change. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=6EljzbC2VP6qqzPDSn&page=1&doc=3&cacheurlFromRightClick=no

RAJAKUMAR, SANJEEVI, JAYASEELAN, ISAKKIPANDIAN, BALAJI, & EHANTHALINGAM. (marzo de 2007). Landslide susceptibility mapping in a hilly terrain using remote sensing and GIS. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=8CeJAvPre8YOGGLCC7HI&page=1&doc=6&cacheurlFromRightClick=no

Rocchini, D. (28 de Diciembre de 2007). Effects of spatial and spectral resolution in estimating ecosystem alpha-diversity by satellite imagery. Obtenido de http://apps.webofknowledge.com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=3&SID=6E9tXw6VKvBfJGbpIQh&page=1&doc=3&cacheurlFromRightClick=no

Wenfeng , C., Yuanyuan, Z., Wenhui, K., & Honglin, H. (10 de Junio de 2019). Impacts of anthropogenic land use/cover changes on soil wind erosion in China. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0048969719309945>

Zhi-XinZhu, Hui-QingPei, S.Schamp, B., Jiang-XiaoQiu, Guo-YinCai, Xia-LanCheng, & Hua-FengWang. (Agosto de 2019). Land cover and plant diversity in tropical coastal urban Haikou, China. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S1618866717306817>

13. REFERENCIAS

Ambrosio, G., González, J., & Arévalo , V. (2002). Corrección radiométrica y geométrica de imágenes para la detección de cambios en una serie temporal. Obtenido de <http://mapir.isa.uma.es/varevalo/drafts/ambrosio2002crg.pdf>

Alcantar , J. G., Ramos , H. N., Palacios , F. J., & Garcia Ortiz , A. (s.f.). Cobertura Vegetal . Obtenido de Guia Técnica 8 : https://www.jica.go.jp/project/elsalvador/0603028/pdf/production/vegetable_08.pdf

Alzate Giraldo , G. A., & Sánchez Gómez, D. P. (2018). Análisis multitemporal por teledetección del cambio de coberturas en las veredas Pantanillo y Las Palmas del municipio de Envigado en el periodo comprendido entre los años 1997 y 2016. Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/2134/Gustavo%20Adolfo%20Alzate%20Giraldo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Alvarez del Castillo, J., & Agregado Cardona , G. A. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico, caso cuenca urbana San Luis. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a04.pdf>

Añasco Jimenez . (s.f.). El suelo y la cobertura vegetal. Obtenido de http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/suelo_cobertura.pdf

Araque, I. D., Britto, M. C., Granados, N. R. P., & Cuellar, L. Á. (2018). Diagnóstico y propuesta de fitorremediación para el tratamiento de aguas residuales, sector tierra negra. *L'esprit Ingénieux*, 9(1), 132-140.

ArcGeek. (2017) . Analisis de correlacion Raster. Obtenido de <http://respuestas.acolita.com/3348/analisis-de-correlacion-con-datos-raster>

Calidad del agua . (s.f.). Obtenido de El agua potable : http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm

Carchi Garcia, A. (2015). Elaboracion de un balance hidrico de la cuenca del rio Machangara. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23005/1/TESIS.pdf>

Catedu. (s.f.). Uso del suelo. Obtenido de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2500/2631/html/5_uso_del_suelo.html

CDIM-ESAP. (s.f.). DIMESNIONES FISICO BIOTICAS. Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/dimension%20fisico%20biotica%20-%20samac%C3%A1%20\(183%20pag%20-%201025%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/dimension%20fisico%20biotica%20-%20samac%C3%A1%20(183%20pag%20-%201025%20kb).pdf)

Ceuta . (2019) Especies contaminantes ambientales. Obtenido de <http://www.lineaverdeceutatrace.com/lv/consejos-ambientales/contaminantes/Que-es-la-contaminacion-ambiental.asp#>

Conscripto Bernardi. (s.f.). Teledeteccion . Obtenido de <http://www.essa.ara.mil.ar/cens/MATERIAS%20TERCER%20A%C3%91O/3%C2%B0%20A%C3%91O/09-TELEDETECCION/PRIMER%20CUATRIMESTRE/PRIMER%20CUATRIMESTRE.pdf>

Corredor Gil , L. A., Cardenas Quiroga, E. A., & Ordoñez Lopez , J. C. (14 de Junio de 2011). APPLICATION OF THE CORINE LAND COVER METHODOLOGY TO DETERMINE THE ENVIRON CHANGES IN THE NATURAL PARK LOS FLAMENCOS. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/264/1903>

Chuvienco. (2002). Fundamentos de teledetección espacial. Obtenido de Teledetección Ambiental La observación de la Tierra desde el espacio.

Chuvienco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Obtenido de Madrid, España: Ediciones Rialp.

Di Gregorio, A., & Jasen. (2000). Land Cover Classification System (LCCS). Obtenido de Classification Concepts and User Manual. Roma.

FAO. (2017). Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura . Obtenido de <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

FAO, & FAO/UNEP, 1. (1997). Obtenido de Special Report on Land Use, Land-Use Change And Forestry.

Fernández, J. & Solano, F. (2005). Índices de calidad y contaminación del agua. Pamplona: Universidad de Pamplona

Geograf. (s.f.). Correcciones a las imágenes de satélites. Obtenido de <https://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema07.pdf>

Gil, Z. E. R., Rodríguez, L. Á. C., Rodríguez, J. L. V., & Soler, X. D. (2015). Bioindicadores de la calidad del agua en áreas con restauración ecológica de la quebrada La Colorada, Villa de Leyva, Boyacá. I3+, 2(2), 10-27.

GIS&Beers. (30 de Mayo de 2019). Banded Landsat . Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/corregir-bandedo-imagenes-landsat-7/#more-7075>

Hidrologia Usal. (S.f). Calculo de la evapotranspiracion potencial mediante la formula de Hargreaves. Obtenido de http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf

Hypergeo. (27 de mayo de 2005). Balance hídrico. Obtenido de <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article300>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2011). Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de calidad del agua superficial. Bogotá: IDEAM

IDEAM. (2014). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

INEGI. (s.f.). Landsat . Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/temas/imagenes/imgLANDSAT/>

IPBES. (2019). DIAGNÓSTICO DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL RESPECTO A LA ACTIVIDAD MINERA Y LA EXTRACCIÓN ILÍCITA DE MINERALES EN EL PAÍS. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/2-diagnostico-actividad-minera-y-explotacion-ilicita-expertos.pdf>

Maria Lossio, O. J. (Septiembre de 2011). El uso de imagenes satelitales y aerofotograficas en la enseñanza de la geografía. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4517/451744820035.pdf>

Meteo. Fisica . (2013). Evapotranspiracion . Obtenido de http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico_climatologia_2013/EVAPOTRANSPIRACION.pdf

Minambiente. (1 de Noviembre de 2019). Gobernanza forestal. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/gobernanza-forestal#anexos>

MinEducación. (11 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-190610.html>

Morocho Tenezaca, M. V. (2013). Analisis multitemporal del uso del suelo de la microcuenca del rio Chacapata- Patococha, en base a fotograficas aereas de los años 1989 y 2000. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/19992/1/tesis.pdf.pdf>

NEXTGIS . (4 de Noviembre de 2013). Quick and convenient analysis of land cover changes. Obtenido de <https://nextgis.com/blog/molusce/>

Parra Ortega. (s.f). Caracterización de cobertura vegetales, paramo de rabanal Cundinamarca – Boyacá.

Parra, A. (2014). Análisis Digital de Imágenes de Teledetección. Teoría y Práctica. Obtenido de Universidad de los Andes.

Plan de Desarrollo . (2007). Diagnostico social y economico de Samacá. Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/plan%20de%20desarrollo%20-%20samac%C3%A1%20\(115%20pag%20-%201150%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/plan%20de%20desarrollo%20-%20samac%C3%A1%20(115%20pag%20-%201150%20kb).pdf)

Polanco. (2006). Fotointerpretacion y mapificacion . Obtenido de http://www.slideshare.net/DARIO_PAEZ/fotointerpretacion

Ramirez Zapata , A. (Junio de 2015). ANÁLISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE SENSORES REMOTOS DE COBERTURA DE LA TIEERRA PARA EL PERIODO DE TIEMPO 1999-2011 EN EL MUNICIPIO DE SAN JACIENTO, BOLIVAR. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/An%E1lisis%20multitemporal%20San%20Jacinto%201999-%202011.pdf?sequence=3>

Secretaria distrital de ambiente. (s.f.). Plan de Manejo y Ordenación de una Cuenca POMCA. Obtenido de <http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/pomca>

Sierra, H. F. G., Vega, M. E., & Castellanos, P. M. A. Estudios sobre medio ambiente y sostenibilidad: una mirada desde Colombia.

Reyes Anistro, G. I., & Adame Martinez, S. (2014). ANALISIS DE CAMBIOS DE USOS DE SUELO PARA LOS AÑOS 1984, 2000 Y 2008 DE LA CUENCA DEL RIO TENANCINGO, ESTADO DE MEXICO. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49280/UAEM-FAPUR-TESIS%20CREYES%20CGLORIA..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Riaño , D., Salas , J., & Chuvieco, E. (s.f.). Corrección Atmosférica y Topográfica, Información Multitemporal y Auxiliar Aplicadas a la Cartografía de Modelos de Combustibles con Imágenes Landsat-TM. Obtenido de http://tig.age-geografia.es/docs/IX_2/Riano_David.PDF

USGS. (2017). Obtenido de <https://www.usgs.gov>

Valencia Marin, V. (2010). Evaluacion de la relacion entre la evapotranspiracion potencial teorica y la evaporacion registrada en los departamentos de cundinamarca y valle del cauca. Obtenido de <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis369.pdf>

Valle, O., & Rivera, O. (s.f.). Monitoreo e indicadores.

Villareal Franco, A. (s.f.). Imagen Satelital. Obtenido de <http://www3.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/imagenes/imgsatelite/metadatos/elementos/rem.pdf>

Yogendra, K. & Puttaiah, E. T. (2008). Determination of water quality index and sustainability of an urban waterbody in Shimoga Town, Karnataka. En M. Sengupta & R. Dalwani (Eds.), Taal2007: The 12th world lake conference (pp. 342-346). Jaipur, India: Ministry of Environment and Forests, Government of India.