



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA  
COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO  
NAGSICHE, CANTÓN SALCEDO PARA EL PERÍODO 2000-2020**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para obtener el grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** JESSICA FERNANDA MOPOSITA TAIPE

**DIRECTOR:** Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA, Ph.D.

Riobamba – Ecuador

2023

**©2023, Jessica Fernanda Moposita Taipe**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JESSICA FERNANDA MOPOSITA TAIPE declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de marzo de 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jessica M. Taipe', with a stylized flourish extending from the end.

**Jessica Fernanda Moposita Taipe**

**CI: 050446929-7**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO NAGSICHE, CANTÓN SALCEDO PARA EL PERÍODO 2000-2020**, realizado por la señorita **JESSICA FERNANDA MOPOSITA TAIPE** ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-03-02
Ing. Juan Carlos González García, PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-03-02
Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce, MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-03-02

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico a Dios por ser mi roca y fortaleza, por guiarme en este camino de aprendizaje. Como no también a mis padres, Patricio Moposita y María Taipe, quienes me apoyaron incondicionalmente en esta etapa de mi vida, gracias también por tenerme paciencia, animarme con palabras de Amor a no dejar mis sueños, una vez más gracias por confiar en mí. De igual forma a mi esposo e hija, Diego y Azeneth Guala son la razón de mi constancia y valentía. También agradecer a las amistades encontradas en esta etapa universitaria, gracias por extender me la mano y ser una segunda familia en tierra ajena.

Jessica

## **AGRADECIMIENTO**

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por abrirme sus puertas y brindarme un espacio en las aulas de la Facultad de Ciencias; en donde tuve la oportunidad de crecer como profesional con la oportunidad de servir a la sociedad y al país dejando en alto el nombre de tan querida institución.

De igual manera quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a mi tutor, PhD. Juan Carlos González García por su atento asesoramiento, competencia, paciencia y apoyo durante el transcurso de la realización del trabajo de titulación de igual manera a la MSc. Sofía Carolina Godoy Ponce, por el tiempo dedicado y los conocimientos brindados y guiarme a través de este trabajo de titulación, a mis amigos de la universidad que me acompañaron en este camino, gracias por las largas noche de estudio y los buenos momentos vividos.

Jessica

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY/ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. El suelo como sustento de la vida características e importancia .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1. Calidad del suelo.....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2. Indicadores de la calidad del suelo .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3. Generalidades de la cobertura y uso de suelo .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1. La cobertura del suelo y su rol indicador ambiental .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1.1. Consideraciones cartográficas de la cobertura de suelo .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4. Clasificación de coberturas de sistemas ribereños.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.1. Cuerpos lacustres y cuerpos de agua .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.2. Cobertura vegetal.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4.3. Sistema de ríos altoandinos .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.4. Sistema altoandino en la actualidad .....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.5. Cobertura vegetal en las cuencas altoandinos.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.5.1. Bosque montano .....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.5.2. Páramos.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.5.3. Remanentes de páramo.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4.5.4. Bosques relictos o permanentes.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5. Ecosistema de la microcuenca del río Nagsiche .....</b>	<b>11</b>
<b>1.6. La teledetección una innovación en la conservación ambiental .....</b>	<b>11</b>
<b>1.6.1. Imágenes satelitales .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.2. Características del uso de imágenes satelitales.....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.3. Componentes de un sistema de teledetección .....</b>	<b>13</b>

1.6.4.	<i>Magnitudes físicas componentes de la teledetección</i> .....	13
1.6.4.1.	<i>Espectro electromagnético</i> .....	14
1.6.4.2.	<i>Bandas Espectrales</i> .....	14
1.7.	<b>Preprocesamiento de imágenes satelitales</b> .....	15
1.7.1.	<i>Clasificación de cobertura por imágenes satelitales</i> .....	15
1.7.1.1.	<i>Fase de entrenamiento</i> .....	16
1.7.1.2.	<i>Fase de asignación</i> .....	16
1.7.2.	<i>Modelado geomorfológico y de cambio de terreno</i> .....	17
1.7.2.1.	<i>Principales parámetros morfométricos de una cuenca</i> .....	17

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	19
2.1.	<b>Localización del estudio</b> .....	19
2.1.1.	<i>Unidad de análisis</i> .....	20
2.2.	<b>Delimitación de la zona de estudio</b> .....	21
2.2.1.	<i>Morfometría de la zona de estudio</i> .....	22
2.3.	<b>Datos e insumos implicados para la determinación del uso de suelo</b> .....	24
2.3.1.1.	<i>Consideraciones</i> .....	25
2.4.	<b>Preprocesamiento de las imágenes satelitales</b> .....	25
2.4.1.	<i>Identificación de estratos de la zona de estudio</i> .....	26
2.4.1.1.	<i>Fase de Entrenamiento</i> .....	26
2.4.1.2.	<i>Fase de Asignación</i> .....	26
2.5.	<b>Estratos en la zona de estudio</b> .....	27
2.5.1.	<i>Matriz de tabulación cruzada</i> .....	27

## CAPÍTULO III

3.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	29
3.1.1.	<i>Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Nagsiche</i> .....	29
3.1.2.	<i>Características morfométricas</i> .....	29
3.1.3.	<i>Resultados asociados a la forma y relieve</i> .....	30
3.1.4.	<i>Curva hipsométrica</i> .....	31
3.1.4.1.	<i>Frecuencia de áreas parciales durante el tramo del río Nagsiche</i> .....	33
3.2.	<b>Identificación de los estratos de zona</b> .....	34
3.2.1.	<i>Clasificación supervisada</i> .....	35

3.2.2.	<i>Cobertura del suelo correspondiente al año 2000</i> .....	35
3.2.3.	<i>Cobertura del suelo correspondiente al año 2010</i> .....	37
3.2.4.	<i>Cobertura del suelo correspondiente al año 2020</i> .....	39
3.3.	<b>Análisis de la clasificación supervisada</b> .....	41
3.4.	<b>Evaluación multitemporal de las transiciones de cobertura</b> .....	42
3.4.1.1.	<i>Matriz de transición de cobertura expresado en ha</i> .....	42
3.4.2.	<i>Matriz de transición correspondiente al año 2000-2010</i> .....	43
3.4.3.	<i>Matriz de transición correspondiente al año 2010-2020</i> .....	44
3.4.4.	<i>Matriz de transición correspondiente al año 2000-2020</i> .....	45
3.4.4.1.	<i>Índice de cambio</i> .....	45
3.4.4.2.	<i>Índice de cambio para el periodo 2000-2010</i> .....	46
3.4.4.3.	<i>Índice de cambio para el periodo 2010-2020</i> .....	47
3.4.4.4.	<i>Índice de cambio para el periodo 2000-2020</i> .....	48
3.4.5.	<i>Transiciones y persistencias para el periodo 2000-2010</i> .....	50
3.4.6.	<i>Transiciones y persistencias para el periodo 2000-2010</i> .....	52
3.4.7.	<i>Transiciones y persistencias para el periodo 2000-2010</i> .....	54
3.5.	<b>Análisis de la transición de cobertura de la cuenca del río Nagsiche</b> .....	55
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	57
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	59

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Delimitación de la zona de estudio por medio de SIG .....	21
<b>Tabla 2-2:</b>	Rangos coeficiente de compacidad.....	22
<b>Tabla 3-2:</b>	Datos de los insumos satelitales para el estudio .....	24
<b>Tabla 4-2:</b>	Procedimiento de validación de los ROI's generados.....	27
<b>Tabla 5-2:</b>	Procedimiento para la generación de la matriz de transiciones .....	28
<b>Tabla 1-3:</b>	Parámetros morfométricos de la cuenca del río Nagsiche.....	29
<b>Tabla 2-3:</b>	Relación altitud vs área acumulada .....	32
<b>Tabla 3-3:</b>	Índice Kappa de la muestra de estudio .....	41
<b>Tabla 4-3:</b>	Valores del índice Kappa.....	41
<b>Tabla 5-3:</b>	Varianza acumulativa obtenido desde el SCP .....	42
<b>Tabla 6-3:</b>	Matriz de transición de cobertura para el año 2000-2010 .....	43
<b>Tabla 7-3:</b>	Matriz de transición de cobertura para el año 2010-2020 .....	44
<b>Tabla 8-3:</b>	Matriz de transición de cobertura para el año 2000-2020 .....	45
<b>Tabla 9-3:</b>	Matriz índice de cambio 2000-2010.....	46
<b>Tabla 10-3:</b>	Matriz índice de cambio 2010-2020.....	47
<b>Tabla 11-3:</b>	Matriz índice de cambio 2000-2020.....	48
<b>Tabla 12-3:</b>	Tabla de persistencias y transiciones entre el año 2000 y 2010 .....	50
<b>Tabla 13-3:</b>	Tabla de persistencias y transiciones entre el año 2010 y 2020 .....	52
<b>Tabla 14-3:</b>	Tabla de persistencias y transiciones entre el año 2000 y 2020 .....	54

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Sistema de teledetección .....	12
<b>Ilustración 2-1:</b> Espectro visible de la radiación electromagnética .....	14
<b>Ilustración 1-2:</b> Macro localización de la zona de estudio. ....	19
<b>Ilustración 2-2:</b> Unidad de análisis cuenca del río Nagsiche.....	20
<b>Ilustración 3-2:</b> Diagrama pendiente media de una cuenca.....	23
<b>Ilustración 1-3:</b> Mapa de pendientes .....	31
<b>Ilustración 2-3:</b> Mapa clasificación de cobertura para el año 2000.....	35
<b>Ilustración 3-3:</b> Mapa clasificación de cobertura para el año 2010.....	37
<b>Ilustración 4-3:</b> Mapa clasificación de cobertura para el año 2020.....	39
<b>Ilustración 5-3:</b> Mapa de persistencias y transiciones 2000-2010.....	51
<b>Ilustración 6-3:</b> Mapa de transiciones y persistencias periodo 2010-2020.....	53
<b>Ilustración 7-3:</b> Mapa de transiciones y persistencias periodo 2000-2020.....	55
<b>Ilustración 8-3:</b> Actividades que fomentan la pérdida del páramo.....	56

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Curva hipsométrica de la cuenca de estudio.....	33
<b>Gráfico 2-3:</b>	Frecuencias de áreas parciales de la zona de estudio .....	34
<b>Gráfico 3-3:</b>	Diagrama cobertura de suelo año 2000 en ha.....	36
<b>Gráfico 4-3:</b>	Cobertura de suelo para el año 2010 en ha.....	38
<b>Gráfico 5-3:</b>	Cobertura de suelo para el año 2020 en ha.....	40
<b>Gráfico 6-3:</b>	Dinámica de cobertura 2000-2010 .....	47
<b>Gráfico 7-3:</b>	Dinámica de cobertura 2010-2020 .....	48
<b>Gráfico 8-3:</b>	Dinámica de cobertura 2000-2020 .....	49

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PUNTOS DE CONTROL NAGSICHE MEDIANTE SIG

**ANEXO B:** REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar los cambios de cobertura de suelo para la microcuenca del río Nagsiche del cantón Salcedo para lo cual se emplearon imágenes Landsat 7 correspondientes a los años 2000, 2010 y 2020, las cuales se sometieron a una clasificación supervisada con base al algoritmo de máxima verosimilitud, se empleó el complemento Semi-Automatic Classification Plugin identificándose cinco tipos de cobertura: vegetación herbácea, páramo, tierra agropecuaria, tierra forestal y antrópica, los resultados se validaron mediante el índice kappa y se estimó tanto las ganancias como las pérdidas de cobertura para los periodos 2000-2010; 2010-2020, mediante matrices de tabulación cruzada. Para el primer periodo se determinó que la superficie con mayor ganancia fue la tierra agropecuaria con un (46,53%) mientras que el páramo fue la cobertura que cedió más espacio con un (36,11%), para el segundo periodo se destaca el crecimiento de la zona antrópica con un (2,34%), frente al páramo cuya pérdida se mantuvo constante alcanzando un (29,29%) generalmente reemplazado por tierra agropecuaria y pastos. Los parámetros morfométricos de la cuenca nos arrojan un área de 257,207 km<sup>2</sup> el cauce principal correspondiente al río Nagsiche posee una longitud de 26,63 km<sup>2</sup>, el factor de forma de Horton de 0,36 nos indica que estamos frente a una cuenca ni alargada, posee un elevado sistema de drenaje con una densidad de drenaje de 0,65 sinónimo de un poder erosivo moderado, la curva hipsométrica mostró que estamos frente a una cuenca madura. Se recomienda complementar dichos estudios con visitas en campo con el objetivo de poner en marcha mecanismos de conservación ambiental de las superficies más vulnerables identificadas de la cuenca, como lo es el páramo fuente de los recursos vitales para el desarrollo agrícola y ecosistémico de los habitantes que viven en la zona de estudio.

**Palabras clave:** <PÁRAMO>, <ANTRÓPICA>, <DRENAJE>, <MORFOMETRICOS>, <DENSIDAD DE DRENAJE >, <IMÁGENES LANDSAT 7>.



0611-DBRA-UPT-2023

## ABSTRACT

This study aimed to determine the changes in land cover for the Nagsiche river micro-basin of the Salcedo canton, for which Landsat 7 images corresponding to the years 2000, 2010 and 2020 were used and subjected to a supervised classification based on the maximum likelihood algorithm. The SemiAutomatic Classification Plugin was used, which identified five types of cover: herbaceous vegetation, páramo, agricultural land, forest and anthropic land; the results were validated using the kappa index, and both the gains and losses of cover were estimated for the 2000 periods. -2010; 2010-2020, using cross-tabulation matrices. For the first period, it was determined that the area with the most significant gain was agricultural land with (46.53%) while the páramo was the coverage that yielded more space with (36.11%); for the second period, it stands out the growth of the anthropic zone with (2.34%), compared to the páramo whose loss remained constant reaching (29.29%) generally replaced by agricultural land and pastures. The morphometric parameters of the basin show us an area of 257.207 km<sup>2</sup>, the main channel corresponding to the Nagsiche River has a length of 26.63 km<sup>2</sup>, and the Horton shape factor of 0.36 indicates that we are facing a non-elongated basin; it has a high drainage system with a drainage density of 0.65, synonymous with moderate erosive power. The hypsometric curve showed that we are facing a mature basin. It is recommended to complement these studies with field visits to implement environmental conservation mechanisms of the most vulnerable areas identified in the basin, such as the paramo source of vital resources for the agricultural and ecosystem development of the inhabitants who live in the study area.

**Keywords:** <PÁRAMO>, <ANTHROPIC>, <DRAINAGE>, <MORPHOMETRIC>, <DRAINAGE DENSITY>, <LANDSAT 7 IMAGES>.



Ing. Paul Obregón. Mgs

0601927122

## INTRODUCCIÓN

### Planteamiento del problema

#### *Enunciado del problema*

En la actualidad la dinámica espacial va muy de la mano como herramienta para constatar los diversos cambios ecosistémicos que surgen a lo largo del planeta, parte de los objetivos de este subcampo investigativos está el velar por el cuidado de los denominados nichos ecológicos que se encuentran alrededor del mundo, pues su conservación y su cantidad reflejan el nivel de salud y calidad ambiental. El manejo de imágenes satelitales ha venido perfeccionándose a lo largo de muchos años, los nuevos datos e información satelital proporcionada nos brinda un amplio campo para actuar frente a la problemática ambiental, en tal sentido es necesario mencionar la problemática ligada con la cuenca del Río Nagsiche la cual se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi parroquia de Cusubamba, esta se caracteriza por mantener una elevada presencia de vegetación arbustiva y autóctona actualmente existe un plan del gobierno parroquial en destinar recursos económicos para la conservación de alrededor de 800 hectáreas de suelo destinados a la protección, manejo y programa de siembra de agua (Lozano, 2021, p. 22).

Sin embargo, a pesar del esfuerzo de conservación la cuenca de Río Nagsiche ha sufrido la pérdida constante de su ecosistema y vegetación natural sea esto por el avance de los poblados y zonas de cultivo que, acarreado en el deterioro ambiental, de igual forma en vista de carentes procesos investigativos que busquen reflejar la pérdida de cobertura del suelo actualmente no se conoce el panorama de la condición vegetativa de los ecosistemas, pero se ha observado un desequilibrio natural de la zona, afectando la presencia de recursos hídrico, fuentes riego entre otros.

En virtud de la problemática mencionada se pretende mediante este estudio aprovechar las cualidades y acceso libre de información proporcionada por las webs de la NASA y generar un proceso de teledetección el cual fundamenta su metodología en el uso, procesamiento e interpretación de imágenes satelitales con el objetivo de conocer el porcentaje de cambio de cobertura de uso de suelo en la cuenca del río Nagsiche entre los años 2000 a 2020, los beneficios de usar este tipo de herramientas radica en la reducción de costos de muestreo, además de una alta presión en sus resultados para su posterior interpretación.

Finalmente, este trabajo está dirigido a la comunidad científica que siempre está en constante estudio e investigación para que estos datos sirvan como pilar fundamental para futuros proyectos de conservación mucho más adaptados a la cuenca de estudio, de igual manera con los resultados obtenidos se busca concientizar a la población sobre el cuidado y protección de los ecosistemas que cada vez son mucho más vulnerables ocasionando daños ambientales y de salud poblacional.

### ***Formulación del problema***

¿Se observa una regresión de cobertura natural en la zona de influencia del Río Nagsiche entre los años 2000 y 2020, cuál será su proyección para el año 2030?

### **Hipótesis nula**

¿La teledetección no es una herramienta ajustada para medir el cambio de cobertura de suelo para la cuenca del río Nagsiche?

### **Hipótesis alternativa**

¿La teledetección si es una herramienta ajustada para medir el cambio de cobertura de suelo para la cuenca del río Nagsiche?

### **Justificación**

Con base a los datos proporcionados por el PDOT de la parroquia Cusubamba la cuenca del río Nagsiche guarda una estrecha relación entre la riqueza vegetativa y arbustiva y ecosistémica, es así que el principal río del cual toma el nombre esta cuenca en la fuente vital para gran parte de la zona norte del cantón (PDOT CUSUBAMBA, 2020). De ahí que las actividades agrícolas sean la principal fuente económica para las familias circundantes al área de influencia, sin embargo, esta actividad que ha venido fomentándose a lo largo de los años ha provocado que las superficies que originariamente correspondían a vegetación endémica sean sustituidas por áreas de cultivo o infraestructura destruyendo el balance ecosistémico y haciendo un mal uso de los recursos naturales de la cuenca, así como la pérdida de la flora y fauna del lugar.

De ahí surge la idea de buscar mecanismos que nos permitan estimar el grado de cambio de la cobertura y uso de suelo a lo largo de los años con el fin de proponer medidas de acción que contrarresten el avance agresivo de la deforestación y la contaminación, gracias a los avances tecnológicos y la facilidad del acceso de información por parte de los satélites se ha visto viable la introducción de los SIG para evaluar el porcentaje de regresión ecosistémica de una zona en particular (Meneces, 2021, p. 35-38).

Para el desarrollo de este trabajo se empleó herramientas SIG de vía gratuita como QGIS, el cual nos permite interpretar la información contenida por las imágenes satelitales, contrastarlas y analizarlas satelitales con el fin de generar una cronología del área de estudio permitiendo identificar las ganancias o pérdidas de cobertura dentro de un periodo de tiempo determinado.

Como mecanismo de validación de los resultados obtenidos se aplicará un matriz de ganancias vs pérdidas, para determinar el porcentaje de tipo de vegetación sujeta a cambio, de igual manera se especificará a lo largo de este trabajo cada uno de los insumos e imágenes satelitales que se utilizarán, sus respectivos pasos de procesamiento e interpretación cuyos resultados se representarán mediante mapas que ejemplificarán de mayor y mejor manera los datos y el trabajo que se ha venido efectuando.

En cuanto al proceso de teledetección se hará hincapié en el uso de datos provistos del sistema nacional de datos abiertos o de los geo portales web con licencia libre, en el caso del manejo de las imágenes satelitales se buscará que estas cuenten con los parámetros más adecuados para su trabajo esto incluye que poseen nula o escasa presencia de cobertura de nubes, un alta calidad de la imagen satelital y la disponibilidad de las mismas, trabajo que en conjunto nos brindará los resultados esperados con un grado de asertividad elevado (Meneces, 2021, p. 42).

Finalmente, los resultados se discutirán con base a proyectos similares realizados de forma técnica se tendrá en consideración los puntos clave que serán mencionados dentro del trabajo con el objetivo de que esta investigación sirva como herramienta y pauta para evaluar los cambios de cobertura vegetal de la zona de estudio, y plantear métodos que frenen la acelerada pérdida de la flora nativa y la fragmentación de estos ecosistemas.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

- Evaluar la dinámica temporal de la cobertura vegetal de la cuenca del Río Nagsiche perteneciente al cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales a partir del año 2000 al 2020.

### ***Objetivos específicos***

- Determinar los parámetros morfológicos de la microcuenca del río Nagsiche
- Identificar los principales tipos de cobertura vegetal perteneciente a la microcuenca del río Nagsiche mediante el procesamiento y análisis de información cartográfica existente.
- Analizar la variación de la cobertura vegetal en el área de la microcuenca del río Nagsiche.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

A través de los años determinar el grado de deforestación de un ecosistema se ha vuelto clave a la hora de plantear mecanismos para su conservación, sin embargo en los primeros estudios de este tipo la demanda de recursos económicos y de personal era realmente enorme e inclusive tratar de determinar grandes superficies de terreno era casi imposible, a raíz de esta problemática se considera el empleo de los sistemas satelitales enfocados en el cuidado del planeta, y una de las ciencias más importantes es la teledetección y estudios de dinámica espacial consideradas como una de las herramientas clave al tratar de monitorear un evento por su secuencia multitemporal de imágenes satelitales en cualquier parte del planeta (Fernández et al., 2020, p. 16).

Según (Tito y Enríquez, 2019, p. 56), la teledetección basa su objetivo en comparar ciertas imágenes de distintos periodos de tiempo, con el fin de identificar algunos cambios en la cobertura terrestre y de esta manera monitorear la evolución de las áreas forestales, recursos naturales, el crecimiento de la urbanidad, superficies quemadas, entre otros.

Actualmente los denominados SIG o sistemas de información geográfica son las herramientas que traducen el lenguaje binario contenido en los píxeles de las imágenes satelitales para un posterior tratamiento, interpretación y generación de resultados, entre las principales herramientas SIG tenemos QGIS o ARCGIS las cuales poseen una gran ventaja a la hora de manejar estos datos lo que las ha convertido en piezas clave para el monitoreo de las condiciones terrestres del planeta por su gran poder de procesamiento de datos y su interfaz fácil de usar (Rojas y Martín, 2019, p. 27).

Tal como menciona (Lozano, 2021, p. 19), Si bien los procesos vegetativos y ecosistémicos en el planeta de por sí mantienen cambios estos cambios cuando son naturales guardan una estrecha relación y equilibrio es decir que esos no logran desajustar las relaciones ecosistémicas y simbióticas entre las especies vegetales y animales, caso contrario con las actividades provocadas por el hombre cuyo impacto es realmente notable y expansivo a un ritmo tal que está inclinando la balanza de un solo lado maximizando los procesos de deforestación y minimizando aquellos procesos de conservación y regeneración natural de la cobertura vegetal (Rojas y Martín, 2019, p. 27). Actualmente el avance poblacional ha ocasionado que las zonas de cultivo vayan ganando espacio entre los demás ecosistemas, si bien esta actividad forma base fundamental del ingreso económico de los habitantes del sector es claro preguntarse, que tan grave es el impacto de esta actividad sobre todo en zonas cuyo proceso de renovación tarda muchos años.

La cuenca del río Nagsiche está ubicada en la provincia de Cotopaxi cantón Salcedo, el río del cual toma su nombre provee del agua necesaria para solventar las capacidades agrarias de los habitantes de este sector, actualmente esta cuenca no cuenta con un estudio multi temporal el cual sería útil para determinar la dinámica temporal de la cobertura vegetal, así como la dinámica de los procesos geomorfológicos que dentro de esta se desarrolla.

La cuenca del río Nagsiche abarca aproximadamente 320 kilómetros cuadrados su ecosistema natural consta de páramos, bosques primarios y vegetación arbustiva que a lo largo de los años ha sufrido una evolución en cuanto a su ecosistema sobre todo en la pérdida de la cobertura forestal y páramo de la zona reemplazado por tierra de cultivo y zonas antrópicas, lo que ocasiona una migración de fauna, una reducción del caudal del río entre otros (Andrade, 2022, p. 44).

Por esta razón la propuesta investigativa de la dinámica de la cobertura vegetal en la cuenca del río Nagsiche proveerá valiosa información que permita la creación de nuevas estrategias encaminadas al cuidado y protección ambiental de estos ecosistemas.

Durante este estudio se busca no solo presentar datos certeros de la dinámica de cobertura de suelo durante los últimos 20 años, si no que por medio de estos datos se busque implementar campañas de cuidado y reforestación de estas áreas que tanto beneficio provee a los habitantes de este sector, así mismo se pretende llegar a la comunidad investigativa y académica la cual tome como base este proyecto y los replique en sus zonas de estudio para llevar un control más adecuado de las ganancias y pérdidas de cobertura vegetal que se han venido desarrollando durante las últimas dos décadas.

## **1.2. El suelo como sustento de la vida características e importancia**

El suelo es el principal componente del planeta y sirve de sustento para la vida, desarrollo de los ecosistemas y de motor económico y de alimento para las grandes poblaciones, dentro del suelo se producen una infinidad de reacciones químicas realmente importantes para el desarrollo de la vida, sirve como sustrato para el crecimiento de plantas y microbiota capaz de aportar los nutrientes necesarios que finalmente lo aprovechamos como alimento (Chuncho, 2019, p. 16).

A través del suelo se intercambia los minerales, materia orgánica, agua y aire entre otros compuestos cuya mayor o menor proporción derivará en lo que conocemos actualmente como tipos de suelos, por otro lado, (Colunga, 2019, p. 56) menciona al suelo como el material donde se desarrolla la cobertura vegetal y les proporciona soporte, nutrientes agua y energía y su rol durante todos estos años significado el mantenimiento de la especie humana en general con el ejemplo más característico siendo las labores agrícolas y el establecimiento de asentamientos humanos.

### **1.2.1. Calidad del suelo**

Se define como la capacidad que tiene el suelo para desenvolverse dentro de un ecosistema determinado, manteniendo el equilibrio microbiológico y de fertilidad del mismo, dando paso al desarrollo adecuado de especies vegetales y animales, la calidad del suelo está estrechamente ligada a la sustentabilidad de las especies ya que un correcto manejo del mismo garantizará que este se regenere de manera adecuada y no pierda sus cualidad naturales a su vez permitiendo que la productividad de los cultivos en este sea constante para generaciones futuras, la idea de calidad del suelo se enfoca en dos puntos importantes:

- El manejo del suelo por los seres humanos
- Propiedades intrínsecas del suelo (Chuncho, 2019, p. 34).

### **1.2.2. Indicadores de la calidad del suelo**

Los indicadores generalmente biológicos son herramientas que permiten medir y obtener información con respecto a los procesos naturales que se originan dentro del suelo, las propiedades tanto físicas como químicas dotan de las características que permiten conocer la funcionalidad de los suelos en los ecosistemas, es decir, muestran los cambios que se producen en el suelo o si éste permanece constante (García et al., 2020, p. 7).

Actualmente los indicadores de calidad del suelo son totalmente medibles y estos dependerán del tipo del suelo y el uso que se lo va a dar, por medio de los instrumentos analíticos hoy en día es posible conocer los fenómenos que en el sistema se suscitan y que sus resultados y datos puedan conducir a la toma de decisiones o procesos investigativos haciendo énfasis en la conservación ecosistémica y propia del suelo, los indicadores deben cumplir con ciertas características como:

- Deben agrupar tanto los procesos físicos, químicos y biológicos.
- Fácil para medir, reconocer y entender y generar soluciones
- Debe ser aplicable en diferentes condiciones y ambientes.
- Ser prácticos y claros, así como sensibles a los cambios que el suelo puede presentar (Jiménez et al., 2019, p. 22).

### **1.3. Generalidades de la cobertura y uso de suelo**

Indica la descripción del material físico en la superficie de la tierra esta con base a sus características morfológicas y vegetativas tales como; cuerpos rocosos, superficies húmedas, cuerpos de agua, construcciones entre otros, su agrupación toma el nombre de coberturas vegetales o de suelo y estas son resultantes de la evolución natural del suelo y su vegetación circundante, todas estas coberturas siempre estarán sujetas a cambios sean de forma natural o por

acción del hombre, ambientalmente hablando la cobertura es un parámetro ideal para corroborar el estado y calidad ambiental que un ecosistema posee (Rojas y Martín, 2019, p. 69).

Actualmente el uso de suelo se ha dividido en subsistemas para una mejor identificación de sus propiedades y funciones, el uso de la tierra representa la ocupación que el ser humano le está dando al suelo como resultado de interrelación entre los factores biofísicos y culturales de un espacio geográfico determinado, en el Ecuador el ente encargado de llevar un orden sistemático de la cobertura y uso de suelo del país es el ministerio de ganadería y pesca un claro ejemplo son sus divisiones tales como de uso empresarial, combinado, mercantil y marginal (Lozano, 2021, p. 13).

### ***1.3.1. La cobertura del suelo y su rol indicador ambiental***

Dentro de la comunidad académica y ambiental los cambios de cobertura y uso de suelo forman parte de las 13 variables terrestres esenciales para el monitoreo de la calidad ambiental dado que dentro de estos ecosistemas la mayor presencia de endemismo dictaminará que la zona está muy bien conservada y su grado de calidad ambiental es mucho mayor, así mismo el suelo interactúa con otras variables como el clima, la precipitación, la temperatura entre otros, cuyo mayor o menor presencia determinará que zonas poseen una mayor proporción de un tipo de cobertura determinado, por ejemplo zonas con climas semi húmedos favorecen la presencia de zonas con vegetación herbácea y arbustiva (León et al., 2020, p. 18).

Con base a lo indicado por (León et al., 2020, p. 18), aquellas zonas cuya temperatura se mantiene en equilibrio son zonas que tienen una presencia vegetativa elevada, por otro lado zonas donde la temperatura o es más elevada o demasiada fría responden a zonas deforestadas proclives a tener un alto riesgo ambiental altos generando consigo problemas ambientales mayores.

#### ***1.3.1.1. Consideraciones cartográficas de la cobertura de suelo***

Por otro lado, al mencionar cambio de cobertura del suelo esto también involucra que esta se puede representar gráfica o cartográficamente, el estudio y obtención de datos cuantitativos a la vez permite reportar estadísticas sobre el área de pérdida y ganancia en las transiciones de cobertura de suelo, este proceso de análisis de cobertura y cambio de suelo deberá mantener una secuencia y consideraciones cartográficas para ser representados de forma adecuada y entendible para la persona que va a leer es así como se debe tomar en cuenta el tiempo de análisis, datos utilizados, metodologías para la elaboración de mapas y detección de cambios, detalle en la descripción de las clases, la proyección, escala de mapeo o resolución, área mínima cartografiable entre otros factores (Flores et al., 2021, p. 55).

## **1.4. Clasificación de coberturas de sistemas ribereños**

Son zonas cuyo resultado parten de la combinación de ecosistemas acuáticos y terrestres, por lo que se denominan sistemas heterogéneos, estas zonas casi siempre son fértiles ya que son cercanos a las afluentes de agua lo que provoca que dichas zonas alberguen altas tasas de endemismo y biodiversidad, dado su rol en el equilibrio ecológico actualmente es casi obligatorio por parte de los entes de control determinar y vigilar el estado actual de estas coberturas y si en caso están sujetas a fenómenos de contaminación impulsar mecanismos de conservación y reforestación de los mismos, actualmente la clasificación de estos sistemas los a realizado el Ministerio del Ambiente tomando en cuenta las características físicas y morfológicas del país y su información puede encontrarse en las plataformas web de esta institución, sin embargo con objeto de ejemplificar de mejor manera se a desglosado cada uno de estos sistemas dentro de este capítulo para una mejor comprensión (Acevedo et al., 2021, p. 6).

### ***1.4.1. Cuerpos lacustres y cuerpos de agua***

Forman parte del subsistema ribereño estos involucran a las áreas con presencia de agua como ríos, lagos y lagunas todas ellas alimentadas por fuentes naturales hídricas y aprovechadas por el ser humano para actividades económicas, ocio, alimentarias entre otras, estos cuerpos de agua se ubican a lo largo de las riberas de las cuencas de los ríos o en zonas húmedas del planeta en base a su dimensión geográfica pueden partir desde pequeños manantiales hasta extensos ríos principales y sistemas lacustres, de igual manera inmerso en este sistema en el agua se almacena una gran cantidad de vida acuática y el recurso hídrico favorece para la permanencia y equilibrio ecosistémico (Calderón et al., 2018, p. 22).

### ***1.4.2. Cobertura vegetal***

Considerado como el manto protector del planeta su origen natural es sumamente importante debido para el desarrollo y sostenimiento de la vida, a través de esta se producen fenómenos químicos y físicos que participan en la renovación de materia y energía, de forma general favorece la reducción de la erosión del suelo y al mismo tiempo recicla y almacenas nutrientes aprovechables para su microbiota y posteriormente usado por la capa vegetativa para desarrollarse, este tipo de cobertura se ubica en las riberas y alrededores de las fuentes de agua poseen grandes cantidades de materia orgánica y minerales por lo que desde el punto de vista agrícola y ganadera se convierte en un pilar fundamental para las actividades económicas de la población, así mismo este tipo de cobertura supone la principal fuente de alimento para especies herbívoras, la presencia del pasto natural, pasto cultivado, vegetación natural lo convierte en una

de las coberturas más apreciadas a nivel monetario pero que su contraparte ambiental es la que más ha sido afectada y desplazada por zonas agrícolas aquellas zonas que inicialmente eran zonas con alta diversidad vegetativa y faunística (Lopez et al., 2021, p. 33).

#### ***1.4.3. Sistema de ríos altoandinos***

Sistemas propios de la región interandina del país se destacan sobre todo la vegetación de montaña y los páramos considerados como los protectores de la mayoría de las fuentes de agua más pura, estas sirven como reservorio de diferentes recursos hídricos además de los extensos servicios ecológicos que brinda a la comunidad tales como almacenamiento y reciclado de nutrientes, retención de sedimento, provee hogar natural para los seres vivos y alimento para completar las cadena de los ciclos tróficos (Lopez et al., 2021, p. 33).

#### ***1.4.4. Sistema altoandino en la actualidad***

Debido a la ampliación de las fronteras agrícolas y pecuarias, lo que se está consiguiendo es la deforestación y desplazamiento de las especies vegetales y animales de los ecosistemas, en ciertos casos la desaparición en su totalidad del bosque andino y páramos para el establecimiento de asentamientos poblacionales está provocando riesgos altos frente a la sostenibilidad y sustentabilidad de la población para los años futuros, por otro lado en lo que a recursos hídricos se refiere se han puesto en marcha acciones tales como Fondo para la Protección del Agua FONAG entre los años 2005 y 2016 a través de su Programa de Recuperación de la Cobertura Vegetal, institución que busca la recuperación y restauración activa con la introducción de especies nativas y una restauración pasiva con la protección del suelo y páramo altoandino (Lozano, 2021, p. 34).

#### ***1.4.5. Cobertura vegetal en las cuencas altoandinos***

Un bien ambiental es aquel producto propio de la naturaleza que son aprovechables para el ser humano, generalmente en forma de energía o de consumo este tipo de recursos son tangibles ya que forman parte de los distintos procesos productivos y que sufren transformaciones y tienden a agotarse con este principio la cobertura vegetal se considera un bien natural por que a través de este se desarrolla la vida ecosistémica, garantiza las cadenas tróficas y sirven de sustento económico para la sociedad mediante la aportación de madera, fuentes hídricas, pesca entre otros, situaciones que dentro de esta se suscitan.

En el Ecuador la cobertura vegetal altoandina se caracteriza por una acumulación de grandes espacios que se ubican a lo largo del callejón interandino el tipo de suelo predominando son suelos con elevadas cargas de materia orgánica (Alperín et al., 2002, p. 63).

#### *1.4.5.1. Bosque montano*

Denominados también como bosques de montaña se encuentran localizados entre las cotas superiores a 2500 metros sobre el nivel del mar, si tomamos como referencia a nivel de la superficie terrestre los páramos se encuentran presentes desde los 1500 a 2500 metros de altitud poseen temperaturas que van desde los 0 °C a 8 °C, su particularidad más grande es la de albergar una gran cantidad de especies vegetales endémicas y susceptibles a los cambios ambientales, así como servir de almacenamiento de agua de las fuentes hídricas o de los fenómenos de precipitación, se sabe que gran parte de los acuíferos y fuentes de extracción de agua de gran calidad parten de los páramos de ahí la gran importancia ambiental y social que estos ecosistemas tienen, en las partes iniciales del páramo se pueden observar la presencia de pinos, abetos, coníferas y plantas menores y a medida que se sigue subiendo se visualiza especies de árboles enanos, musgos, líquenes y ciertos pastos (Osuna et al., 2015, p. 10).

#### *1.4.5.2. Páramos*

Son ecosistemas con un nivel de fragilidad elevado, se los localiza en la región sierra del Ecuador a una altura promedio de 3300 metros sobre el nivel del mar y cubre el 9% del territorio nacional, sus suelos poseen una baja densidad aparente, y la clase de suelo predominante son de tipo molisol, este tipo de suelos guardan estrecha relación con el almacenamiento de agua y materia orgánica de ahí que estos ecosistemas son las fuentes principales de aprovechamiento de los recursos hídricos y sumideros de carbono, posee un paisaje bioclimático de tipo herbazal de alta montaña, su clima es frío debido a una menor concentración de oxígeno en el aire la textura de su suelo se lo puede visualizar de tipo pedregoso o salino y tiene poca vegetación sin embargo la poca vegetación que se desarrolla es la estepa arbustiva (Buitrago, 2020, p. 78).

#### *1.4.5.3. Remanentes de páramo*

Hace referencia aquel páramo en el cual se ha visto afectado o modificado por la intervención humana por lo general dentro de este ecosistema se encuentra el páramo como tal y áreas de matorral, pastizales y zonas de siembra con base a lo expuesto por el ministerio del ambiente, entre los años 1990 y 2016, se han perdido 51 000 hectáreas. Al 2016, la remanencia promedio en parroquias con prevalencia de páramo es de 46,1%.

De ahí que los remanentes de páramo actualmente están ganando espacio el páramo natural de ahí que es necesario una planificación territorial y de gestión del uso del suelo principalmente en aquellas cuyo remanente es superior al 50% (Forero et al., 2020, p. 23-26).

#### *1.4.5.4. Bosques relictos o permanentes*

Este tipo de ecosistema es consecuencia del vestigio de algún tipo de flora endémica la cual se ha conservado a lo largo de cientos de años entre las especies representativas se tiene la almohadilla, frailejones, arbustivo, herbáceo o fauna que en algún momento tuvo una gran extensión de superficie y que ahora solo posee una pequeña muestra de su vegetación en zonas puntuales del Ecuador, actualmente mucho más amenazada corriendo el riesgo de extinción total afectando al ciclo hídrico natural favoreciendo la disminución del caudal de los ríos llegando a ser muy perjudicial sobre todo para los que dependen de estas aguas principalmente para realizar actividades como la agricultura (Santos et al., 2000, p. 43).

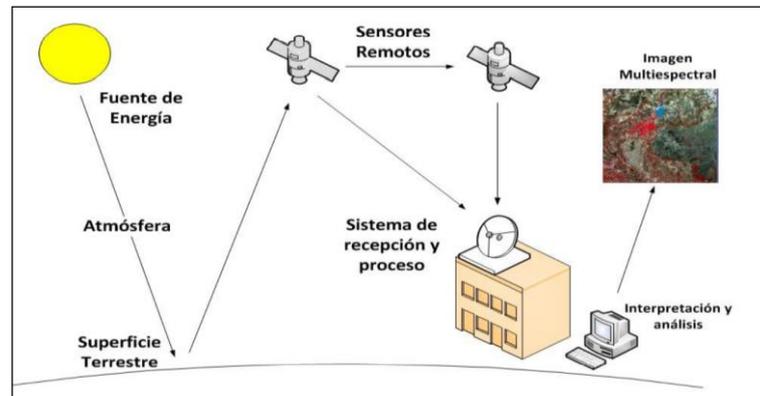
### **1.5. Ecosistema de la microcuenca del río Nagsiche**

La microcuenca del río Nagsiche toma su nombre del principal cauce y parteaguas que divide esta cuenca, se encuentra establecida en la provincia de Cotopaxi Cantón Salcedo, Parroquias de Cusubamba y Mulalillo posee un rango de cotas que van entre los 2800 a 4600 metros sobre el nivel del mar, la cobertura predominante de esta cuenca es variada destaca la vegetación natural, páramo, tierra forestal y las áreas designadas para cultivo, sus pendientes son muy inclinadas y fuertes sobre todo al inicio de la divisoria de aguas, la unidad hidrográfica del río Nagsiche le compete al sistema hidrográfico del río Pastaza, subcuenca del río Patate y la microcuenca del río Cutuchi (Calderón et al., 2018, p. 54).

### **1.6. La teledetección una innovación en la conservación ambiental**

La teledetección consiste en la adquisición, procesamiento e interpretación de información provista de la superficie terrestre a partir de sensores instalados en plataformas espaciales. Actualmente la brecha se ha superado y existen cada vez más datos mucho más precisos y metodologías que son útiles para evaluar los cambios de cobertura y uso del suelo, así como otros por ejemplo planificación urbana, vigilancia y cuidado del medio ambiente, gestión de cultivos, agricultura de precisión, prospección petrolífera e hídrica.

La teledetección sin duda se ha convertido en una herramienta importante a la hora de obtener información que a simple vista no puede ser captado o estarían ocultos o fuera de nuestro alcance, la interpretación de las imágenes procedentes de los satélites implica que estas puedan ser digitalizadas para poder efectuar las metodologías necesarias de preparación dentro del software correspondiente y estar listas para su total empleo (Romero, 2005, p. 16).



**Ilustración 1-1:** Sistema de teledetección

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

### **1.6.1. Imágenes satelitales**

Una imagen satelital no es más que el producto de la representación pictórica en la cual existe la medición de la energía del espectro electromagnético tomada y procesada por los sensores de los principales satélites artificiales, donde este apunte se podrá visualizar una zona geográfica determinada ya sea una ciudad un país o algún cuerpo celeste entre otros.

En función al grado de medición de la longitud de onda, infrarrojo medio, infrarrojo térmico, espectro visible, microondas entre otros arrojará la imagen satelital los datos deseados a su vez las imágenes tipo radar son las más apreciadas dentro de la comunidad científica pues mediante un sensor Lidar se puede obtener datos incluso con malas condiciones atmosféricas puesto que los impulsos luminosos emitidos desde el satélite hasta el objeto rebotan sobre este y regresan para ser preprocesados (Clemente y Hornero, 2021, p. 27).

### **1.6.2. Características del uso de imágenes satelitales**

Debido a la naturaleza de la composición digital de las imágenes satelitales es necesario elevar los datos que el investigador está buscando, información que está contenida en cada píxel que conforma la imagen satelital, el uso de imágenes satelitales está abierto a cualquier persona sin embargo estas poseen un rango entre días por cada fotografía a diferencia de las fotografías aéreas las cuales pueden sujetarse a un muestreo diario.

Sin embargo la gran facilidad y adaptabilidad de las metodologías planteadas hace que la teledetección mediante el uso de imágenes satelitales sea el mecanismo más empleado, aparte de otras ventajas como no requerir altos costes de monitoreo, no consideran un plan de vuelo y permiten representar de forma verídica los fenómenos naturales que se suscitan dentro del planeta (Gómez et al., 2013, p. 6-9).

### **1.6.3. Componentes de un sistema de teledetección**

En la actualidad el número de satélites a crecido y cada vez estos son mucho más precisos los que se encuentran en órbita procesan miles de imágenes durante los 365 días del año, todos estos sistemas cuentan con los siguientes componentes esenciales para su funcionamiento los cuales se detallan a continuación:

- **Sensor:** conforma la parte óptica del satélite la cual capta, codifica y transmite los datos del objeto enfocado, dependiendo del tipo de sensor las imágenes resultantes tendrán menor o más información.
- **Centro de recepción:** La información y los datos pasan hasta los departamentos de procesado y decodificación, en este lugar se corrige posibles interferencias previo a su distribución.
- **Vía de distribución:** Una vez que se han procesado de manera correcta, estas pasan a formar parte de las bases de datos de los sistemas espaciales que son de acceso libre para cualquier persona, en este punto se puede ya hacer la descarga y uso de dichas imágenes (Romero, 2005, p. 16).

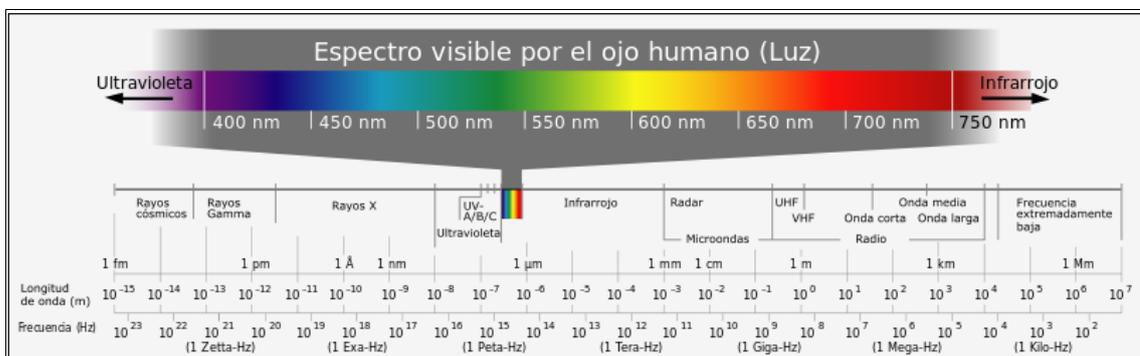
### **1.6.4. Magnitudes físicas componentes de la teledetección**

Como se supo indicar en párrafos anteriores la teledetección usa la tasa de radiación emanada por un objeto o superficie del planeta que se ve reflejada hacia un sensor encargado de desglosar e interpretar como resultado tenemos la imagen satelital en alta resolución las magnitudes físicas que forman parte de estos procesos son:

- **Emisividad:** Hace referencia a la relación entre la emitancia de una superficie u objeto y la que tendría un emisor perfecto a la misma temperatura.
- **Reflectividad:** Relación entre el flujo de radiación incidente y la reflejada por una superficie u objeto.
- **Absortividad:** Relación entre el flujo de radiación incidente y la absorbida por una superficie.
- **Transmisividad:** Relación entre el flujo de radiación incidente y la transmitida por una superficie (Regos et al., 2012, p. 25).

### 1.6.4.1. Espectro electromagnético

La interpretación de las imágenes satelitales se fundamenta en la capacidad de los sensores satelitales de diferenciar varias firmas espectrales y adecuar de tal manera que esta información contenida en los píxeles se convierta en una imagen digital a medida que avanzan los años se busca generar sensores cada vez más perceptibles que abarquen frecuencias espectrales más amplias y con mayor precisión todos los objetos del planeta reflejan en menor o mayor proporción una longitud de onda determinada, por lo que afirmar que la relación entre la temperatura superficial y el grado de emisiones de una longitud de onda es totalmente correcta (Montecinos, 2019, p. 22).



**Ilustración 2-1:** Espectro visible de la radiación electromagnética

**Realizado por:** Moposita Taipei, Jessica, 2023.

### 1.6.4.2. Bandas Espectrales

Las bandas espectrales indican el tipo y cantidad de información que los satélites pueden comprimir para su procesamiento, cada una de estas bandas será diferente y representará rangos específicos del espectro electromagnético, las bandas más comunes empleadas en estudios de teledetección son las siguientes:

- Espectro Visible: posee un rango de 0,4 a 0,7 µm a su vez esta banda se subdivide en 3 rangos el azul (0,4 – 0,5µm), verde (0,5– 0,6µm) y rojo (0,6 – 0,7µm).
- Infrarrojo próximo: con un rango de (0,7 – 1,2 µm) es muy utilizado para determinar áreas y masas vegetales.
- Infrarrojo medio: con rangos que van de (1,3–8,0µm) esenciales para monitorear los procesos físicos que suceden sobre la superficie terrestre (Gómez et al., 2013, p. 40).

## 1.7. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Los sensores son los encargados de medir la radiancia y se puede ver afectada por la absorción y dispersión que se produce por la cobertura nubosa, gases y aerosoles que se encuentran en la atmósfera, cuando se compara varias imágenes tomadas en diferentes fechas están tienden a cambiar por lo que es necesario siempre realizar correcciones de los valores de las radiaciones que el sensor registra, de esta forma todas las perturbaciones serán eliminadas y habrá un mejor tratamiento de las imágenes.

- **Corrección geométrica:** Su función principal es corregir todas las distorsiones que se pueden producir al momento de tomar la fotografía y adaptar las fotografías a proyecciones cartográficas deseadas e iguales.
- **Calibración radiométrica:** Son imágenes satelitales que poseen un escalado artificial de la radiancia, está acumulada por una representación discreta por medio de números digitales, las características de acumulación de cada uno de los sensores dependerán la escala.
- **La radiancia:** Que es captada por el sensor va a depender exclusivamente de la luz solar en el instante que se realiza la fotografía. Si las imágenes son obtenidas en tiempos diferentes no será posible comparar las firmas espectrales, es ahí la importancia de la calibración radiométrica.
- **Corrección atmosférica:** El objetivo principal es de anular el efecto de la dispersión de la radiación electromagnética que se crea a partir de gases y partículas suspendidas en la atmósfera todo esto se lo puede realizar mediante la corrección atmosférica que es la encargada de recuperar la radiancia intrínseca de cualquier objeto que esté en investigación todo es posible mediante una señal que recibe el sensor.

### 1.7.1. Clasificación de cobertura por imágenes satelitales

La clasificación supervisada permite visualizar una fotografía en la que los píxeles originales de la imagen satelital están dados por un número digital cada celda contendrá información única en este caso de la cubierta vegetal para su correcta interpretación es necesario que estos cuenten con unos pasos previos de preprocesamiento teniendo como tales las fases de entrenamiento y fase de asignación.

#### 1.7.1.1. Fase de entrenamiento

Durante esta etapa el guía identifica diferentes áreas específicas de entrenamiento para posteriormente generar una descripción numérica de cada uno de los atributos espectrales dentro de cada una de las categorías o grupos de cobertura de tierra, para poder realizarlo contamos con dos diferentes métodos: método de supervisado o método no supervisado.

- **Método supervisado:** Este método se aplica cuando se tiene un conocimiento en campo previo de la zona de estudio mediante el método supervisado se puede ajustar de una mejor manera las áreas y tipos de vegetación predominante estas se delimitarán y se agruparán las áreas representativas de los grupos seleccionados para el estudio a dichas áreas se las denomina áreas de entrenamiento ya que se puede familiarizar el software en la identificación de las diferentes categorías en función de sus números digitales.
- **Método no supervisado:** mediante este método se definirá las clases espectrales que están presentes en la fotografía esto por medio de una interpretación humana. El método utilizado para realizar esta acción es de tipo agrupamiento (Valencia y Rivera, 2021, p. 86).

#### 1.7.1.2. Fase de asignación

Como bien lo menciona el título esta fase consiste en asignar dentro del SIG el tipo de suelo que nosotros hemos interpretado, los principales algoritmos para la clasificación serán aquellos que definen un territorio dominante en cada clase de acuerdo con sus funciones para esto se puede usar algunos clasificadores los más destacados son:

- **Clasificador de mínima distancia:** La distancia entre un píxel y una clase serán calculados por este clasificador por ende el píxel  $x$  será asignado a su clase de acuerdo con la distancia mínima.
- **Clasificador de paralelepípedos:** La definición de los paralelepípedos serán asignados de acuerdo con su valores máximos y mínimos de reflectividad, Mediante este clasificador se puede aparecer píxeles que no hayan sido asignados o a su vez píxeles asignados a diferentes clases.
- **Clasificación máxima de probabilidad:** Se entiende que los datos van en función de una distribución de carácter normal para destinar la probabilidad de que un píxel pertenezca a cada uno de los grupos, es así como el píxel será asignado al grupo que mayor probabilidad tenga (Valencia y Rivera, 2021, p. 86).

### *1.7.2. Modelado geomorfológico y de cambio de terreno*

Consiste en la creación de un modelo nuevo diseñado a partir de un sistema real para poder analizar y entender su proceder de modo que permita predecir su funcionamiento y comportamiento para el futuro, este modelado sin duda estará correlacionado con la cantidad y calidad de los datos resultantes, pues a mayores datos mayor precisión tendrá el modelo planteado. El modelo en este caso surge de la comparación de dos mapas tomados en diferentes fechas o periodo de año el cual al contrastar nos permitirá observar cambios de cobertura de suelo, Los paquetes de modelación están conformados con funciones, herramientas que tienen distintos requisitos y se desarrollan por medio de algoritmos diferentes su aplicación dependerá de todos los datos que entren y el objetivo final de la modelación, entre los plugins de modelamiento más destacados se encuentra dentro de Qgis el denominado Land Change Modeler, sistema integrado al software TERRSET; DINAMICA EGO, plataforma destinada al modelado ambiental; MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation). Cada uno de estos plugins maneja una metodología diferente para llegar a sus resultados sin embargo cada uno de ellos cumple con la función de determinar la cantidad de suelo que se ha convertido o perdido permite establecer la relación de transición y las variables explicativas (Padma et al., 2022, p. 59).

#### *1.7.2.1. Principales parámetros morfométricos de una cuenca*

- **Área de la cuenca (A):** El área de la cuenca se define como el espacio delimitado por la curva, borde o perímetros, esta línea por lo general se traza a partir del parteaguas que se quiera determinar, a la par del área nos podemos encontrar con las curvas de nivel las cuales nos brindan el perfil topográfico de la cuenca importante a la hora de conocer si la cuenca tiende o no a mantener fenómenos erosivos moderados a altos.
- **Red de drenaje:** Muestra cada uno de los ríos secundarios y principales que constituyen la red hídrica de la cuenca, una red de drenaje elevada demostrará que estamos frente a una cuenca, joven o madura y que los fenómenos de escorrentía serán más frecuentes, a diferencia de una cuenca con una red de drenajes menor.
- **Longitud del cauce principal:** No es más que el cálculo de las distancias del río o parte aguas principal del cual nace o se delimita la cuenca o subcuenca.
- **Índice de Horton:** Su cálculo nos permite describir la forma de la cuenca y como esta se comporta frente a los fenómenos de precipitación.
- **Índice de compacidad:** Su determinación va del par con el índice de Horton pues es una forma de corroborar el tipo de cuenca, además relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca.

- **Curva Hipsométrica:** Nos permite determinar el estado actual de la cuenca en referencia a la edad de la cuenca, dividiéndose en cuencas con ríos jóvenes, maduros y viejos, también el diagrama hipsométrico permite determinar el porcentaje de área acumulada con base a las cotas o pendiente de la cuenca (Valencia y Rivera, 2021, p. 86).

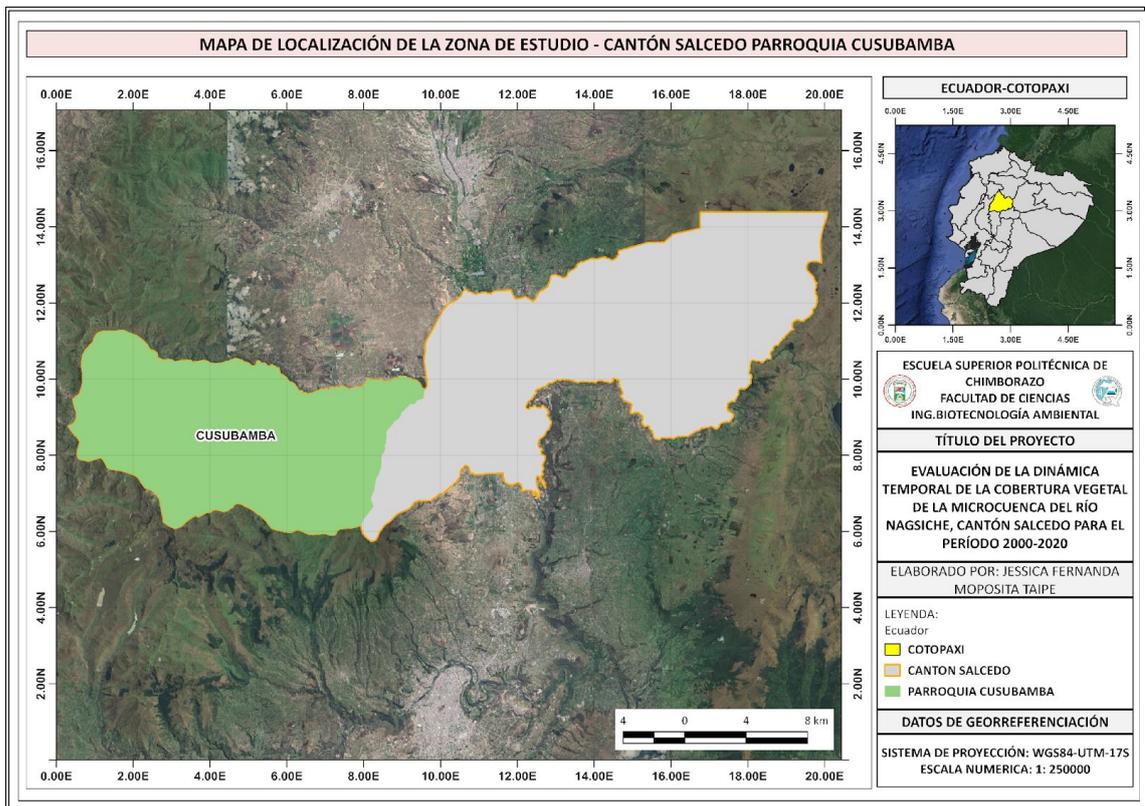
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Localización del estudio

La investigación se llevó a cabo en la parroquia de Cusubamba perteneciente al cantón Salcedo provincia de Cotopaxi, esta se encuentra ubicada al sur occidente de la cabecera cantonal de San Miguel de Salcedo, a 9 kilómetros. Sus límites jurisdiccionales - políticos de la parroquia Cusubamba son las siguientes: al NORTE limita la parroquia urbana San Miguel de Salcedo, y con la parroquia matriz de Pujilí, al ESTE con las parroquias Panzaleo y Antonio José Holguín, al Sur con la provincia Tungurahua y al OESTE con la parroquia Cusubamba.

Con coordenadas Geográficas UTM WGS 84 17S; 1°05'04.9"S 78°44'20.4"W.



**Ilustración 1-2:** Macro localización de la zona de estudio.

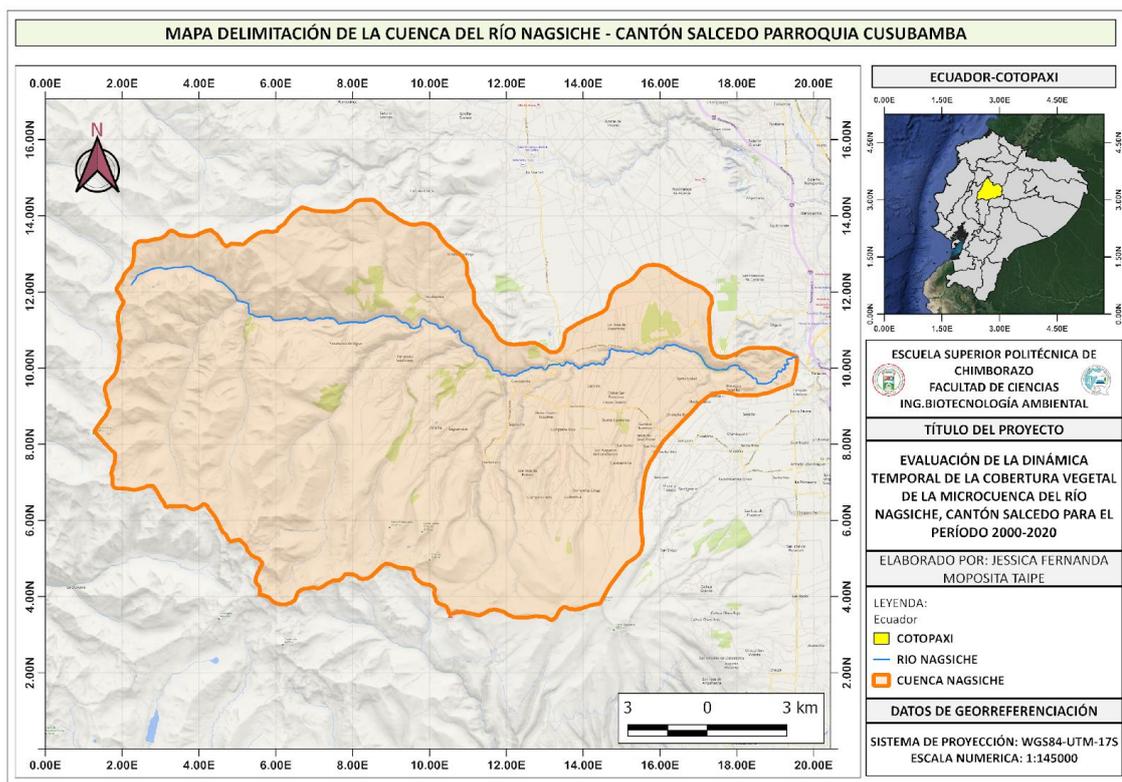
Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023.

### 2.1.1. Unidad de análisis

En cuanto a la delimitación geográfica de la microcuenca del Río Nagsiche forma parte del sistema hidrográfico del río Pastaza, subcuenca del río Patate y la microcuenca del río Cutuchi. sus límites geográficos son:

Al norte: deslindando por el río Nagsiche desde sus orígenes en la quebrada Toro Rumi, hasta la desembocadura de la quebrada Chirinche, donde sobresale el cerro Punteras, y las lomas Pucará, San Antonio, Huarcurumi.

- Al sur: los cerros Punjocata, Cóndor Amana, Zampala, loma Chuquiragua, quebradas Compañía Grande, Verdepamba, Yaraguashpa y Sinfo.
- Al este: loma Jachaguangu y las quebradas de San Agustín y Chirinche.
- Al oeste: deslindado por la cima de la cordillera Occidental, Cerros Yanarumi y Curiquingue, loma Pucangagua y Anacochoa, las quebradas de Palangana y Chilcatingo.



**Ilustración 2-2:** Unidad de análisis cuenca del río Nagsiche

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023.

## 2.2. Delimitación de la zona de estudio

En cuanto a la delimitación de la zona de estudio se empleó la database provista en el geoportal del MAE concerniente a la unidad hidrográfica del río Nagsiche nivel 6 así como el perfil topográfico de la misma, consecuentemente también se empleó un modelo de elevación digital también denominado como DEM descargado de la plataforma EARTH EXPLORER de la NASA, finalmente se realizó la identificación del parteaguas principal y su red hídrica esto para distinguir a los afluentes principales dentro de la subcuenca del río Nagsiche, todo este proceso se llevó a cabo bajo la herramienta SIG denominada QGIS (Drinkwater et al., 2004, p. 78).

**Tabla 2-1:** Delimitación de la zona de estudio por medio de SIG

Herramienta	Función	Archivo de entrada	Archivo de salida
<b>Fill</b>	Modifica el Modelo de Elevación Digital (MED)	MED	MED corregido (relleno de píxeles vacíos)
<b>Flow Direction</b>	Calcula el ráster de dirección de Flujo	MED corregido	Dirección de flujo
<b>Flow Accumulation</b>	Calcula el flujo aglomerado para una celda.	Dirección de flujo	Acumulación de flujo
<b>Map Algebra</b>	Partiendo de la aglomeración de flujo, calcula el ráster de corrientes, para lo cual se especifica el número de celdas deseadas para que formen una corriente.	Acumulación de Flujo	Red de drenajes
<b>Stream Link</b>	Transforma en segmentos continuos a la red de drenajes.	Red de drenaje Dirección de flujo	Drenaje segmentado
<b>Stream Order</b>	Establece un ráster del orden de las corrientes, en base al método de Strahler. *	Drenaje segmentado	Orden de los drenajes
<b>Stream to Feature</b>	Produce un shape de drenajes a partir del orden de los drenajes y la dirección de flujo.	Orden de los drenajes Dirección de flujo	Shape de la red de drenaje (red hídrica).

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023.

Seguido de esto, la delimitación del territorio de estudio se lo realizó por medio de la estratificación basada en la determinación de rangos altitudinales en donde se localizó el área de estudio con cotas que van desde los 2500 a 3400 m.s.n.m., datos reflejados al obtener las curvas de nivel correspondientes.

Para el caso de la superficie se empleó la calculadora de atributos del programa QGIS y se terminó un total de 26702,684 hectáreas alrededor del punto de inicio del río Nagsiche, finalmente el resto de los parámetros se obtuvieron con base a las fórmulas correspondientes y la verificación del tipo y uso de suelo mediante tabulación de datos o esquema completamente al azar y la fórmula de Fisher para el cálculo de muestras de poblaciones.

### 2.2.1. *Morfometría de la zona de estudio*

Posterior a la delimitación de la cuenca de estudio se procedió a la obtención de los parámetros morfológicos de la subcuenca del río Nagsiche importante para conocer de forma general el estado actual de la misma su relieve, drenaje, superficie y demás insumos que nos permitan una clasificación más real. Para la obtención de estos parámetros se combinó tanto insumos en formato shape como en formato ráster, además de las fórmulas y bases teóricas que guardan estrecha relación con este tipo de parámetros ejemplificados de manera más detallada a continuación:

- **Área (A):** Hace referencia a la superficie terrestre que está delimitada por la divisoria o denominada parte de aguas, cuyo método de medida es en kilómetros cuadrados.
- **Perímetro (P):** Determina la longitud de la divisoria de aguas, esta se calcula en kilómetros o metros su cálculo en conexión con el área nos puede dar un indicio sobre la forma de la cuenca
- **Centroides:** Corresponde a los centros de masa de la divisoria de aguas, aplicables en los ejes X, Y, Z llamada altitud.
- **Coefficiente de compacidad de Gravelius:** Está fuertemente correlacionado al perímetro de una cuenca hidrográfica mediante un parámetro adicional con el de un círculo teórico de área similar al de la cuenca representada en la tabla correspondiente (Santos et al., 2000, p. 29).

**Tabla 2-2:** Rangos coeficiente de compacidad

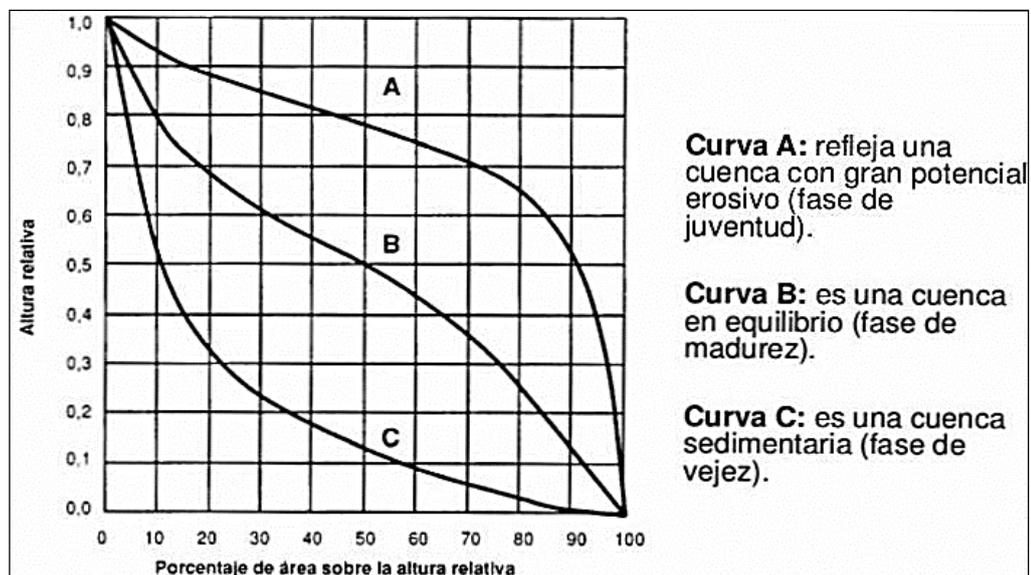
Rango de Kc	Clases de compacidad
1-1.25	Redonda a oval redonda
1.25-1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50-1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023.

- **Pendiente media:** Relaciona el relieve de la cuenca frente a la variación de inclinación del terreno permite conocer el grado erosivo a la cual se ve sujeta la cuenca, esencial al relacionar este tipo de fenómenos con el nivel de riesgos e impacto ambiental, los factores que influyen en mayor o menor proporción a que se generen este tipo de eventos son los fenómenos de

escurrimiento, humedad del suelo, infiltración presencia de aguas subterráneas, así como la densidad de drenaje de la cuenca. El valor de la pendiente media está expresado en porcentaje el cual variará en función al relieve del terreno, en este caso el de la cuenca siendo así los valores siguientes: Muy plano a un valor menor del 0,5%; plano entre 0.5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % corresponde a un relieve accidentado; 20 a 50 % accidentado muy fuerte; escarpado cuando está entre 50 y 75 %, y mayor al 75% se caracteriza como muy escarpado.

- **Curva hipsométrica:** Representa de forma gráfica la variación de la pendiente de la cuenca a partir de la superficie acumulada representado en porcentaje mediante la cual podemos saber la distribución de las zonas altas, medias y bajas.



**Ilustración 3-2:** Diagrama pendiente media de una cuenca

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023.

- **Densidad de drenaje:** Relación la sumatoria total de toda la red hídrica de la cuenca, incluyendo el parteaguas principal se expresa en km/km<sup>2</sup>, la caracterización de este parámetro está estrechamente relacionado al grado de drenaje de la cuenca frente a los fenómenos de lluvia e infiltración es así que los coeficientes resultantes indican el tipo de densidad a la que se encuentra sujeta la cuenca teniendo como: Densidad baja para valores entre 0,1 y 1,8, valores entre 1,9 y 3,6 corresponde a una densidad moderada, y valores entre 3,7 y 5,6 se refieren a una densidad alta. Un valor de densidad de drenaje alto se refiere a una cuenca muy bien drenada, atribuyendo a una respuesta relativamente rápida a un evento de precipitación.
- **Densidad de corrientes:** Este parámetro indica el grado de tributarios y afluentes que parten del cauce principal de la cuenca su relación es bidireccional pues a una mayor longitud del cauce principal mayores ramificaciones o tributarios tendrá la cuenca, su importancia radica

en que el parámetro densidad de corriente permite evaluar el grado de aprovechamiento del recurso hídrico y el porcentaje de recarga de agua de la cuenca (Drinkwater et al., 2004, p. 58).

### 2.3. Datos e insumos implicados para la determinación del uso de suelo

Para la parte del análisis multicriterio se emplearon imágenes satelitales provistas de los sitios web de acceso público Earth Data y Sentinel de la NASA con una resolución espacial de 30 x 30 metros, cada una de estas imágenes pertenecen a 3 años específicos una del año 2000, 2010 y 2020, las imágenes descargadas contaron con una particularidad y es que estas deben mantener el menor porcentaje de nubosidad dentro del área de estudio correspondiente, posterior es necesario realizar un tratamiento previo de esta imágenes pasos que serán detallados a medida del desarrollo del trabajo de investigación (Pérez, 2018, p. 5-7).

**Tabla 3-2:** Datos de los insumos satelitales para el estudio

	Imágenes					
	LANDSAT 6		LANDSAT 7		LANDSAT 7	
<b>Fecha de Adquisición</b>	19/02/2000		09/11/2010		20/07/2020	
<b>Sensor</b>	ETM+		ETM+		ETM+	
<b>WRS Path</b>	10		10		10	
<b>WRS Row</b>	61		61		61	
<b>Coordenadas Geográficas</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
	-1.00685	-78.84524	-1.01805	-78.84172	-1.01156	-78.82611
	-1.15049	-78.84533	-1.14783	-78.84094	-1.01667	-78.83723
	-1.00747	-78.60808	-1.14842	-78.84182	-1.14675	-78.84338
	-1.01317	-78.61179	-1.13938	-78.81684	-1.14103	78.84105
<b>Sistema de Proyección</b>	UTM		UTM		UTM	
<b>Unidades de Proyección</b>	Metros		Metros		Metros	
<b>Zona UTM</b>	17S		17S		17S	
<b>Sistema de Referencia</b>	WGS84		WGS84		WGS84	
<b>Cobertura Nubosa</b>	5%		10%		5%	
<b>Resolución (m)</b>	30		30		30	
<b>Combinación de bandas empleadas en el estudio</b>	Azul: 0.45-0.52 $\mu\text{m}$ Verde: 0.52-0.60 $\mu\text{m}$ Rojo: 0.63-0.69 $\mu\text{m}$		Azul: 0.44 0.51 $\mu\text{m}$ Verde: 0.52-0.59 $\mu\text{m}$ Rojo: 0.63- 0.685 $\mu\text{m}$		Azul: 0.43-0.55 $\mu\text{m}$ Verde: 0.50-0.62 $\mu\text{m}$ Rojo: 0.50-0.62 $\mu\text{m}$	

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023.

### 2.3.1.1. Consideraciones

Durante la descarga de las imágenes satelitales se deberá tomar en cuenta que estas cuenten con un porcentaje de nubosidad menor al 15 % así mismo se deberá preprocesar dichas imágenes para corregirlas y mejorar su resolución, en el caso que las imágenes contengan un porcentaje moderado de nubosidad se deberá aplicar un filtro o máscara para evitar que esta información afecte a los resultados esperados.

Finalmente es necesario mencionar que durante el análisis multi temporal de las imágenes satelitales estas deberán guardar correlación tanto en la densidad de píxel como en su tamaño que por lo general para este estudio las imágenes en formato ráster serán de una resolución de 30 metros por 30 metros.

## 2.4. Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Como se había mencionado antes de trabajar con las imágenes satelitales es obligatorio un pretratamiento de estas indistintamente del satélite o la fuente de la cual se haya descargado, este preprocesamiento tiene como objetivo resaltar los elementos que son difíciles de percibir o distinguir directamente de la imagen para que los resultados sean mucho más reales y certeros es así como dentro de estos pasos se realizó lo siguiente:

Para las imágenes Landsat se requirió de una corrección atmosférica con una previa corrección radiométrica.

Fue necesario convertir los píxeles de cada banda que por defecto están en número digital (ND) en valores de radiancia (L)

$$L = ND * G + B$$

Posteriormente estos valores de radiancia deben ser transformados a valores de reflectividad en el techo de la atmósfera “Top of Atmosphere” (TOA)

Para convertir los valores ND a valores de radiancia, se utilizan los factores radiométricos de reescalamiento G y B que son específicos para cada banda contenidos en un archivo MLT que viene junto con la descarga de estas imágenes, a su vez todo este proceso se lo realizará bajo el complemento denominado Semi Automatic Plugin.

$$pp \frac{L * d^2 * \pi}{ESUN * COS\theta}$$

Donde:

$\rho_p$  = Reflectancia planetaria adimensional

$L$  = Radiancia espectral

$d$  = Distancia entre el sol y la Tierra

$ESUN$  = Irradiancia solar exoatmosférica

$\theta$  = Ángulo solar

#### ***2.4.1. Identificación de estratos de la zona de estudio***

Dentro de este paso lo que se busca es darle los parámetros y características preponderantes para que el plugin pueda realizar la selección mediante la clasificación no supervisada de cobertura la cual consistió en tomar puntos o regiones de interés (ROI's), guiándonos en un mapa base y determinando para cada ROI un tipo específico de uso o tipo de suelo, las subsecuentes etapas de este proceso se detallan de manera más uniforme a continuación.

##### *2.4.1.1. Fase de Entrenamiento*

Durante esta fase se realizó la combinación de las bandas espectrales a la resultante de color natural, combinando las bandas azul, verde y rojo, este paso se hizo con la finalidad de obtener un mapa de coberturas de suelo de la zona de estudio, con ayuda del plugin “Semi-Automatic Classification” en el software QGIS, para esto se requirió generar zonas de control o (ROI's), denominadas parcelas de entrenamiento.

##### *2.4.1.2. Fase de Asignación*

Durante esta fase dentro del plugin se seleccionó el modelo con el que va a hacer la clasificación siendo este el clasificador de máxima verosimilitud este algoritmo es considerado como uno de los procesos mejor adaptados para hacer este proceso de análisis de cobertura.

Este algoritmo sustenta su metodología en el “retrato espectral” de cada categoría en función de la media y de la varianza de los sitios de entrenamiento localizados en la imagen satelital, lo cual permite trabajar con un modelo de distribución de probabilidad que permite asignar a cada píxel a la categoría con mayor probabilidad.

## 2.5. Estratos en la zona de estudio

Finalmente se genera la estratificación de las coberturas de suelo dividido en los presentes estratos Pasto, cultivos, suelo y remanentes de páramo, bosque, antrópica (considerando las regiones agrícolas), cada uno de estos estratos poseerán un valor de píxel único y una codificación de color en particular.

**Tabla 4-2:** Procedimiento de validación de los ROI's generados

Medida	Fórmula	Descripción
<b>Precisión del Productor - PA</b> ( <i>Producer's Accuracy</i> )	PA= Número de píxeles clasificados correctamente en una categoría (columna) / Número total de píxeles en esa categoría (columna)	Hace referencia a la probabilidad de que una clase determinada se reconozca correctamente.
<b>Precisión del Usuario - UA</b> ( <i>User's Accuracy</i> )	UA= Número de píxeles clasificados correctamente en una categoría (fila) / Número total de píxeles en esa categoría (fila)	Representa la probabilidad de que un píxel sea clasificado correctamente en la clase específica a la que pertenece.
<b>Precisión Global - OA</b> ( <i>Overall Accuracy</i> )	PA= Número total de píxeles correctamente clasificados / Número total de píxeles clasificados	Indica la proporción del área clasificada correctamente.
<b>Índice kappa</b>	$kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}$ <p>Dónde:  r = número de filas y columnas en la matriz de error.  N = número de píxeles en la matriz de error.  n<sub>ii</sub> = elemento en la diagonal de la clase i.  n<sub>i+</sub> = número total de observaciones en la fila i.  n<sub>+i</sub> = número total de observaciones en la columna i.</p>	Es una medida de la concordancia entre dos mapas teniendo en cuenta todos los elementos de la matriz de error.

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023.

### 2.5.1. Matriz de tabulación cruzada

Posteriormente para la evaluación multitemporal y de cobertura con el objetivo de determinar el porcentaje de ganancias pérdidas generadas de cobertura de suelo se decidió aplicar una matriz transicional, o de tabulación cruzada lo que nos permitirá identificar correlaciones entre las variables que están en juego, además de que es de fácil interpretación nos permitirá evitar cualquier tipo de error, dicha herramienta resulta ideal para este tipo de estudios es así que se calculó las medidas de cambios y vulnerabilidad como se presenta en la tabla correspondiente.

**Tabla 5-2:** Procedimiento para la generación de la matriz de transiciones

Medida	Fórmula	Descripción																																										
Matriz de tabulación cruzada	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <th colspan="3">Año 2</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Año 1</th> <th>Clase 1</th> <th>Clase 2</th> <th>Clase 3</th> <th>Total año 1</th> <th>Pérdidas</th> </tr> <tr> <th>Clase 1</th> <td>P<sub>11</sub></td> <td>P<sub>12</sub></td> <td>P<sub>13</sub></td> <td>P<sub>1+</sub></td> <td>P<sub>1+</sub> - P<sub>11</sub></td> </tr> <tr> <th>Clase 2</th> <td>P<sub>21</sub></td> <td>P<sub>22</sub></td> <td>P<sub>23</sub></td> <td>P<sub>2+</sub></td> <td>P<sub>2+</sub> - P<sub>22</sub></td> </tr> <tr> <th>Clase 3</th> <td>P<sub>31</sub></td> <td>P<sub>32</sub></td> <td>P<sub>33</sub></td> <td>P<sub>3+</sub></td> <td>P<sub>3+</sub> - P<sub>33</sub></td> </tr> <tr> <th>Total año 2</th> <td>P<sub>+1</sub></td> <td>P<sub>+j</sub></td> <td>P<sub>+n</sub></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>Ganancias</th> <td>P<sub>11</sub> - P<sub>11</sub></td> <td>P<sub>22</sub> - P<sub>22</sub></td> <td>P<sub>33</sub> - P<sub>33</sub></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Año 2					Año 1	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Total año 1	Pérdidas	Clase 1	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>1+</sub>	P <sub>1+</sub> - P <sub>11</sub>	Clase 2	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>2+</sub>	P <sub>2+</sub> - P <sub>22</sub>	Clase 3	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>3+</sub>	P <sub>3+</sub> - P <sub>33</sub>	Total año 2	P <sub>+1</sub>	P <sub>+j</sub>	P <sub>+n</sub>			Ganancias	P <sub>11</sub> - P <sub>11</sub>	P <sub>22</sub> - P <sub>22</sub>	P <sub>33</sub> - P <sub>33</sub>			<p>La matriz de tabulación cruzada se la conoce también como matriz de cambios (en estudios de usos de suelo). Está conformada por filas que poseen la información de las clases del tiempo 1 y las columnas a la del tiempo 2</p>
		Año 2																																										
	Año 1	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Total año 1	Pérdidas																																						
	Clase 1	P <sub>11</sub>	P <sub>12</sub>	P <sub>13</sub>	P <sub>1+</sub>	P <sub>1+</sub> - P <sub>11</sub>																																						
	Clase 2	P <sub>21</sub>	P <sub>22</sub>	P <sub>23</sub>	P <sub>2+</sub>	P <sub>2+</sub> - P <sub>22</sub>																																						
	Clase 3	P <sub>31</sub>	P <sub>32</sub>	P <sub>33</sub>	P <sub>3+</sub>	P <sub>3+</sub> - P <sub>33</sub>																																						
Total año 2	P <sub>+1</sub>	P <sub>+j</sub>	P <sub>+n</sub>																																									
Ganancias	P <sub>11</sub> - P <sub>11</sub>	P <sub>22</sub> - P <sub>22</sub>	P <sub>33</sub> - P <sub>33</sub>																																									
Parámetros para el análisis de los cambios de cobertura de suelo	<p>Ganancias: <math>(G_{ij}) = P_{+j} - P_{ij}</math>                      Pérdidas: <math>(L_{ij}) = P_{j+} - P_{ij}</math>                      Cambio neto: <math>(D_j) =  L_{ij} - G_{ij} </math>                      Cambio total: <math>(D_{Tj}) = G_{ij} + L_{ij}</math>                      Intercambio: <math>(S_j) = 2 * \text{MIN}(P_j - P_{ij}, P_{+j} - P_{ij})</math>                      Dónde:  <math>P_{+j}</math> = Ganancias en el tiempo 2  <math>P_{jj}</math> = Ausencia de cambios de cobertura  <math>P_{j+}</math> = Pérdidas en el tiempo 2</p>	<p>Estos parámetros determinan ganancias, pérdidas, cambio neto, cambio total e intercambios, para cada clase (cobertura) experimentados entre dos tiempos de estudio.</p> <p>El cambio total es la mitad de la suma de los cambios en las categorías individuales, de igual manera sucede con el cambio neto y el intercambio; debido a que la suma de los cambios en las categorías individuales cuenta dos veces el cambio en el área total porque el cambio en una celda de la matriz cuenta como una ganancia en una categoría y una pérdida en otra categoría</p>																																										
	Vulnerabilidad		<p>gp =ganancia/persistencia                      lp =pérdida/persistencia</p>	<p>Relacionan la persistencia de la pérdida y ganancia de cada categoría</p>																																								
	Índices de persistencia de Braimoh		<p>np= gp- lp                      Donde:  <math>gp</math> = persistencia de ganancia  <math>lp</math> = persistencia de pérdida  <math>np</math> = cambio neto de persistencia</p>	<p>se basa en el cálculo de índices de ganancias, pérdidas y cambios netos en relación con la persistencia de cada clase.</p>																																								

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Nagsiche

Dentro de la morfología de la cuenca la obtención de los diversos parámetros permiten tener una idea mucho más clara del tiempo de cuenca sujeta de estudio y los fenómenos que suceden dentro de la misma estos se dividen en parámetros generales aquellos que dan una perspectiva en general de la cuenca, los parámetros asociados a la forma de la cuenca lo que mediante fórmulas predicen en la forma de esta, posteriormente los parámetros de relieve fundamentales para determinar los fenómenos erosivos y de escorrentía que suceden en la cuenca y finalmente los parámetros asociados a la red de drenaje datos que nos permite conocer la red hídrica esencial para el aprovechamiento y conservación de este recurso según (Mahala, 2019, p. 25), en su estudio “La importancia del análisis morfométrico para comprender las características hidrológicas y morfológicas en dos entornos morfoclimáticos diferentes” menciona la importancia de hacer una evaluación previa de las características como el relieve, red de drenaje, zonas altitudinales de una cuenca pues a posterior nos ayudará a tomar una idea más clara de la zona de estudio donde se está aplicando la investigación.

##### 3.1.1. Características morfométricas

**Tabla 1-3:** Parámetros morfométricos de la cuenca del río Nagsiche

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS GENERALES		
PARÁMETRO / UNIDADES	SÍMBOLO	VALOR
Perímetro (km)	P	81.808
Área (km <sup>2</sup> )	A	257.027
Longitud máxima o Longitud Axial(km)	LM	26.638
Longitud cauce Principal (km)	LCP	31.4040
Ancho de la Cuenca (km)	AC	9.648
Desnivel Altitudinal (m)	DA	1946.05
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DE LA CUENCA		
PARÁMETRO / UNIDADES	SÍMBOLO	VALOR
Factor Forma	FF	0.3622
Coefficiente de Compacidad	KC	1.423
Coefficiente de Circularidad	CC	0.4826
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA FORMA DEL RELIEVE		
PARÁMETRO / UNIDADES	SÍMBOLO	VALOR
Cota máxima (msnm)	cmax	4541,1

Cota mínima (msnm)	cmin	2595,05
Altitud media (msnm)	Am	3718,78
Altitud más frecuente (msnm)	Af	3718,5
Pendiente promedio de la Cuenca (%)	Smed	10 %
Altitud mayor del Cauce	Amc	4296,25
Altitud menor del Cauce	Amecc	2595,050
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS ASOCIADOS A LA RED DE DRENAJES		
PARÁMETRO / UNIDADES	SÍMBOLO	VALOR
Longitud total drenajes (km)	Lt	92,349
Densidad de Drenaje	D	0,6592
Frecuencia de Drenajes	F	0,3657
Coefficiente de torrencialidad	Ct	0.2139

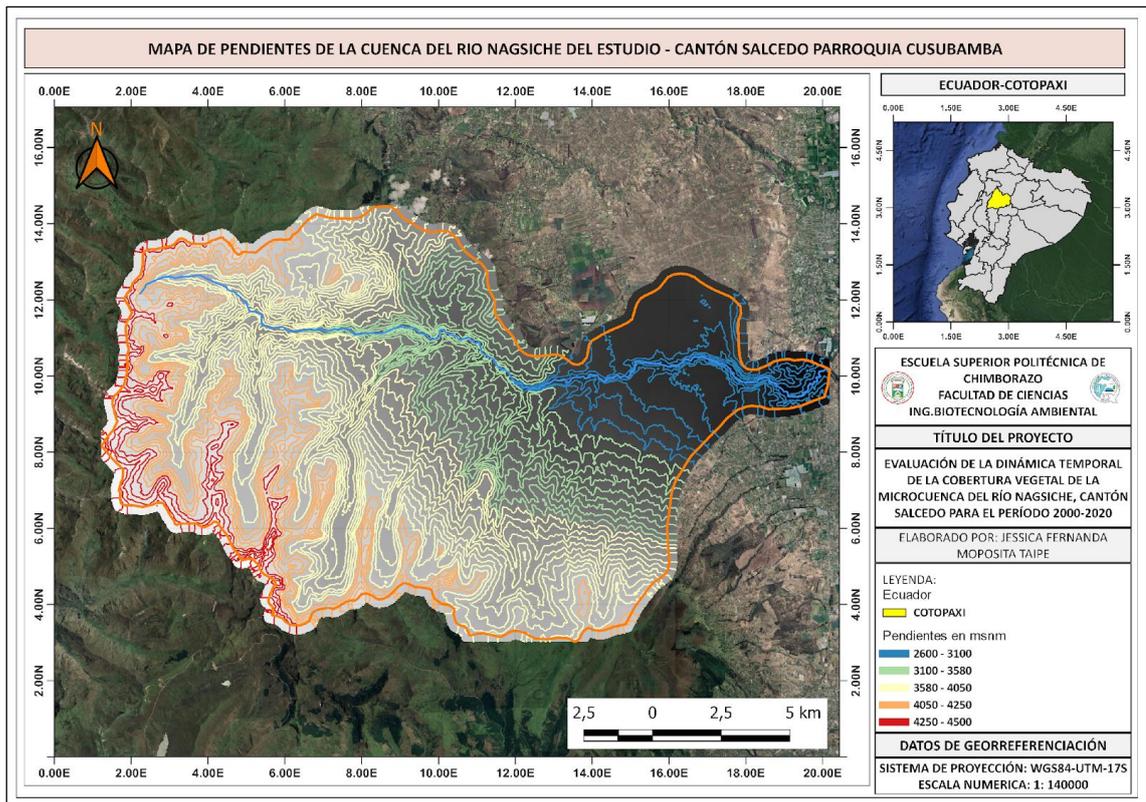
**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023.

La presente tabla resume las principales características morfológicas de la cuenca del río Nagsiche teniendo así los siguientes datos, posee un área de aproximadamente 257,207 km<sup>2</sup> con un perímetro de 81,09 km<sup>2</sup> respectivamente el cauce principal correspondiente desde el punto de aforo o parte aguas del río Nagsiche posee una longitud de 26,63 km<sup>2</sup>.

En lo que respecta a los parámetros morfométricos asociados a la cuenca según (Mahala, 2019, p. 12) un valor de 0,36 obtenido en el factor de forma de Horton nos indica que estamos frente a una cuenca ni alargada y ensanchada por su parte el coeficiente de compacidad para este caso se obtuvo un valor de 1,42 que con base a bibliografía corresponde a una cuenca que va desde oval oblonga a rectangular oblonga, finalmente el coeficiente de circularidad obtuvo un valor de 0,48 lo que corresponde a que esta cuenca tiende a ser ovalada.

### 3.1.2. *Resultados asociados a la forma y relieve*

En segunda instancia en cuanto a los resultados asociados a los parámetros asociados a la forma del relieve según (Kudnar, 2020, p. 34), estos parámetros son esenciales para conocer el relieve de la cuenca, así como los fenómenos erosivos y geológicos que surgen a través de ella, es así que tenemos que las cotas correspondientes a la cuenca sus resultados son; cota máxima empieza en los 4541.1 msnm y su cota más baja alcanza los 2595,05 msnm valores que a primera vista nos dan una pista de que dicha cuenca es favorable a procesos de escorrentía e infiltración. Por otra parte, el promedio de la pendiente en la cuenca alcanza un 10% que en base a lo propuesto por (Kudnar, 2020, p. 34), obedecen a cuencas con un elevado sistema de drenaje, el sistema hídrico con su río principal y secundario alcanza una longitud de 92,349 km<sup>2</sup>. Finalmente, la densidad de drenaje obtuvo un valor de 0,65 lo que nos indica que estamos frente a una cuenca bien drenada con un poder erosivo moderado reflejado en el coeficiente de torrencialidad con un 0,21 respectivamente.



**Ilustración 1-3:** Mapa de pendientes

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023.

### 3.1.3. Curva hipsométrica

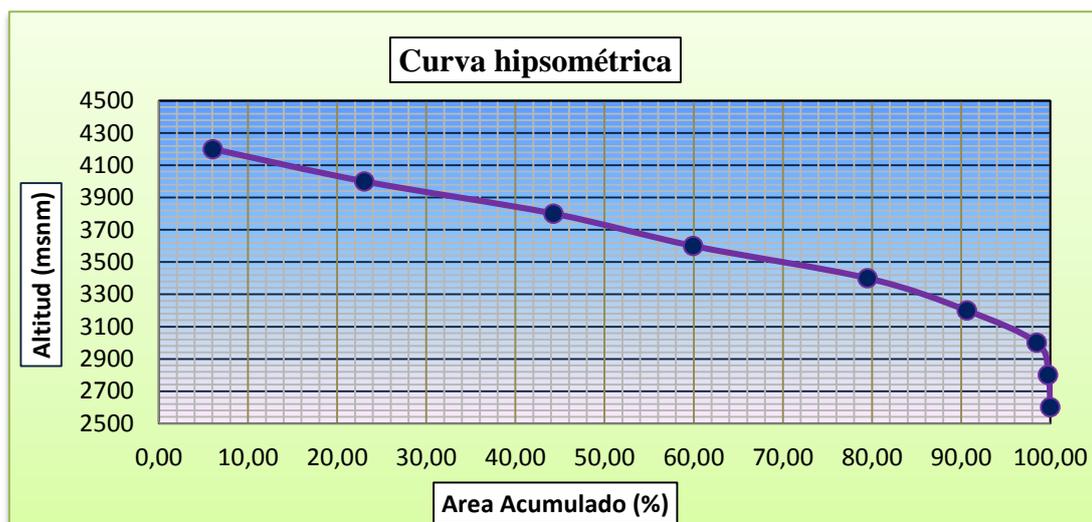
En cuanto a la curva hipsométrica este parámetro considera la frecuencia altitudinal y el porcentaje de total de área que ocupa, además que permite asociar su gráfica con la edad que podría tener la cuenca según (Lousada y Castanho, 2021, p. 13) en su trabajo “ GIS-based assessment of morphological and hydrological parameters of Ribeira dos Socorridos and Ribeira do Vigário Basins, Madeira Island, Portugal” afirma que las cuencas con alturas superiores a 3000 msnm tienen una predisposición a fenómenos erosivos cosa que coincide con nuestro estudio donde se observa que a una mayor cantidad de área y una mayor altura mayor potencial erosivo tendrán, con base a esto las cotas de la cuenca inician a los 4541.1 msnm y termina en los 2595,05 msnm la gráfica muestra la relación de que a mayor altitud el porcentaje de área acumulada disminuyó.

**Tabla 2-3:** Relación altitud vs área acumulada

ALTITUD	ÁREAS PARCIALES		ÁREAS ACUMULADAS(KM2)			
			CURVA POR DEBAJO		CURVA POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km2	(%)	AQSA	(%) TOTAL	AQSA	(%) TOTAL
<b>Punto más bajo</b>						
<b>2600</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	199,60	100,00
<b>2800</b>	0,49	0,25	0,49	0,25	199,11	99,75
<b>3000</b>	2,54	1,27	3,03	1,52	196,57	98,48
<b>3200</b>	15,63	7,83	18,66	9,35	180,94	90,65
<b>3400</b>	22,24	11,14	40,90	20,49	158,70	79,51
<b>3600</b>	39,03	19,55	79,93	40,04	119,67	59,96
<b>3800</b>	31,26	15,66	111,19	55,71	88,41	44,29
<b>554000</b>	42,40	21,24	153,60	76,95	46,01	23,05
<b>4200</b>	33,91	16,99	187,51	93,94	12,10	6,06
<b>4500</b>	12,10	6,06	199,60	100,00	0,00	0,00
<b>Punto más alto</b>						
<b>TOTAL</b>	199,60	100,00				

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

La tabla generada muestra la relación altitud vs el área acumulada esta nos muestra que a medida que las cotas van creciendo mayor área acumulada se genera, en función a la condición del terreno y su relieve una mayor proporción de área acumulada se correlaciona con fenómenos erosivos o deslaves en este caso desde el parteaguas que inicia a los 2600 metros sobre el nivel del mar hasta alcanzar el tope máximo de 4500 msnm se puede decir que es una cuenca equilibrada y no acumula de forma abrupta porcentajes de áreas en ciertas zonas si no por lo contrario que esta guarda un equilibrio relativo es preciso mencionar que (Pérez, 2018, p. 14) afirma que una cuenca en una etapa joven a madura por lo general acumula mayor cantidad de área cosa que podemos corroborar con el resultado de la curva hipsométrica aplicada.



**Gráfico 1-3:** Curva hipsométrica de la cuenca de estudio

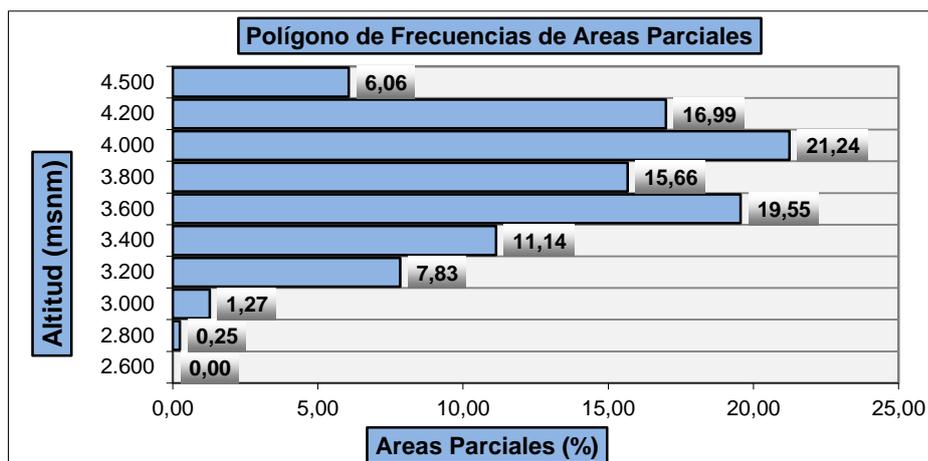
Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Por otro lado, la curva hipsométrica mostró que la cuenca se encuentra en una etapa joven a madura según lo descrito por (Peña et al., 2008, p. 67), el diagrama muestra que es una cuenca de tipo A, la cual se caracteriza por que posee una mayor cantidad de área acumulada en las cotas más altas de la cuenca, que a su vez se la relaciona como una cuenca con un poder erosivo moderado a alto.

La cota máxima de la cuenca inicia en los 4500 msnm y esta va descendiendo hasta el punto de aforo o parte aguas con 2500 msnm como cota mínima, representando gráficamente de que a mayor altitud el porcentaje de área acumulada disminuyó, por lo contrario a medida que las cotas bajan el porcentaje de área acumulada aumentó clasificándose esta en tres tipos de (4500 a 3900 msnm) alta, (3900 a 3100 msnm) media, (3100 a 2500 msnm) baja, asimismo es notable mencionar que el relieve de la cuenca denotará cuan predispuesta es la misma a fenómenos erosivos y de precipitación y escorrentía.

### 3.1.3.1. Frecuencia de áreas parciales durante el tramo del río Nagsiche

Los resultados del porcentaje de áreas parcial acumulada a lo largo del tramo del principal río que atraviesa la cuenca muestra que con un 21,24% se agrupa en los 4000 msnm, seguidamente con un 19,55 y 16,99% de área acumulada se localiza entre los 3400 y 4200 msnm, finalmente se aprecia que el área acumulada en menor entre los 2800 y 3000 msnm, en contraste con (Lousada y Castanho, 2021, p. 23) encontraron en su estudio que el área acumula de su cuenca empezaba desde los 2000 msnm sin embargo es claro destacar que este resultado pudo ser afectado por fenómenos erosivos de la cuenca que han venido acumulándose a lo largo de los años, que en nuestro caso la cuenca si bien sufre una erosión esta no llega a ser tan radical.



**Gráfico 2-3:** Frecuencias de áreas parciales de la zona de estudio

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

### 3.2. Identificación de los estratos de zona

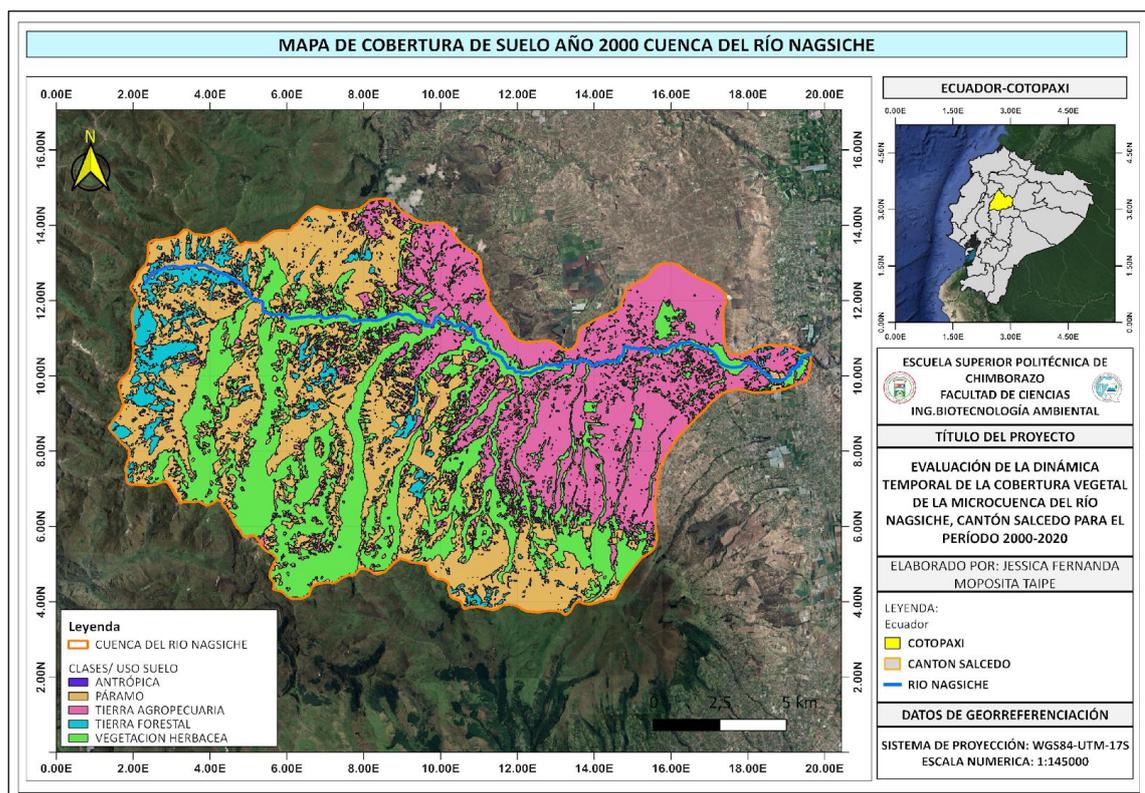
Con base a la data base provista del MAE, se realizó la estratificación de las coberturas identificadas para cuenca del río Nagsiche, presentados en su leyenda temática, de los niveles I y II de la cobertura vegetal y uso de suelo del Ecuador es así como se ha dividido en las siguientes clases tomando en cuenta la revisión bibliográfica previa y conocimiento del sector.

- **Tierra forestal (Nivel I):** Con base a la nomenclatura indicada por el MAE esta corresponde a tierra vegetación arbustiva y herbácea la cual se caracteriza por contener especies vegetales propias o endémicas de la región sierra sobre todo nativas tales como: arbusto, pasto nativo, polylepis (nativo), especies de Eucaliptus globulus y Pinus radiata.
- **Tierra Agropecuaria (Nivel II):** Cobertura que hace referencia a la superficie aprovechable para la siembra de cultivos, se caracterizar porque dentro de la zona se encuentran cultivos de ciclo corto como maíz, hortalizas, árboles frutales entre otros.
- **Vegetación herbácea:** Vegetación propia de la región interandina del país, dentro de esta se destacan especies tales como: Cynodon dactylon, también conocido como, grama, grama fina o gramilla, alfalfa, reigrass pastos y follajes en general.
- **Suelo y remanentes de páramo:** Se enfoca en las zonas que poseen cobertura vegetal escasa o suelo desnudo en el caso de los remanentes de páramo aquellas zonas de la cuenca que tienen especies propias de estas zonas climáticas
- **Zona antrópica:** Consiste en las áreas destinadas a los asentamientos humanos, dado que la zona de la cuenca delimitada en su mayoría se sitúa en el sector rural no se observan cambios tan radicales en cuanto al espacio destinado para este tipo de establecimientos.

### 3.2.1. Clasificación supervisada

Se utilizó el complemento semi automatic classification alojado en el repositorio de plugins de QGIS este nos permitió realizar la clasificación supervisada en función al tipo y uso de suelo preponderantes de la zona para los 3 conjuntos de ráster, cabe resaltar que la cobertura nubosa cumplió con lo dispuesto en revisión bibliográfica que sea menor al 10%, destacándose que la composición que mayor cantidad de nubes mantuvo fue aquella del año 2014 que sin embargo se sumó estos píxeles a las zonas correspondientes a tierra forestal y arbustiva, cabe mencionar que el complemento empleado dentro de Qgis empleado para este estudio está totalmente avalado por la FAO tal y como lo describe (Huang et al., 2014, p. 11) donde menciona que el plugin SCP tiene un alto rango de aceptación y precisión y que esta fiabilidad dependerá sobre todo del tratamiento que se le dé a la información y a la calidad de imágenes con las que se va a manejar el estudio.

### 3.2.2. Cobertura del suelo correspondiente al año 2000

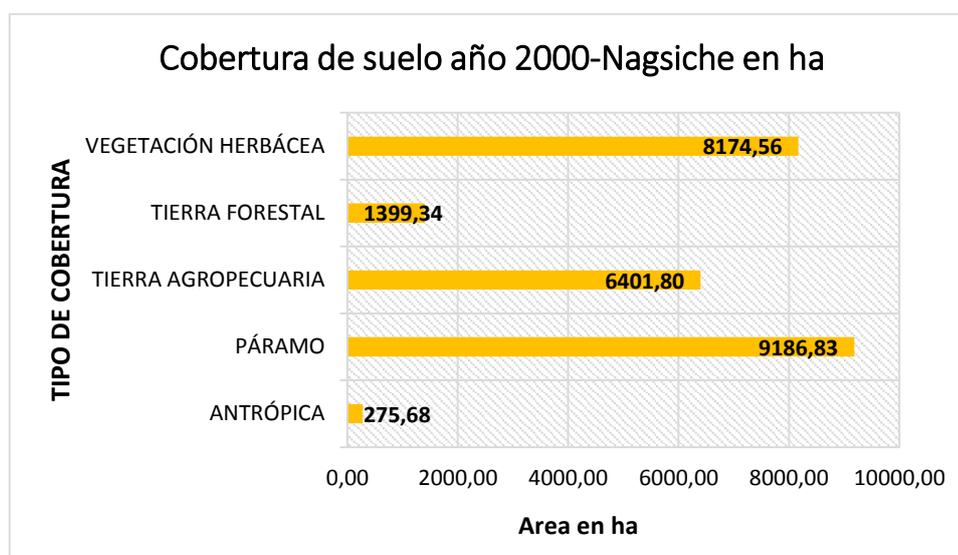


**Ilustración 2-3:** Mapa clasificación de cobertura para el año 2000

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

El resultado de la clasificación generada dentro de la zona fue; se obtuvo 5 tipos y usos de suelo correspondiente a tierra forestal (color celeste); tierra agropecuaria (color rosado), vegetación herbácea (color verde), suelo y remanentes de páramo (color amarillo) y la zona antrópica (color

azul), como tal, es así que se observa evidente que durante este año la zona antrópica es la de menor superficie y casi inapreciable dado que a lo largo de la cuenca los asentamientos humanos eran muy pequeños salvo pequeñas comunidades esparcidas en zonas puntuales del sector, por el contrario los pastos, la vegetación arbustiva y tierra forestal se ubican con una mayor permanencia y la tierra agropecuaria estaba en proceso de expansión, caso similar en el estudio de (Baldini et al., 2016, p. 11), donde observa una clara tendencia de las zonas que son delimitadas exclusivamente para actividades agrícolas que por lo general se disponen en las cercanías o alrededores del suelo antrópico.



**Gráfico 3-3:** Diagrama cobertura de suelo año 2000 en ha

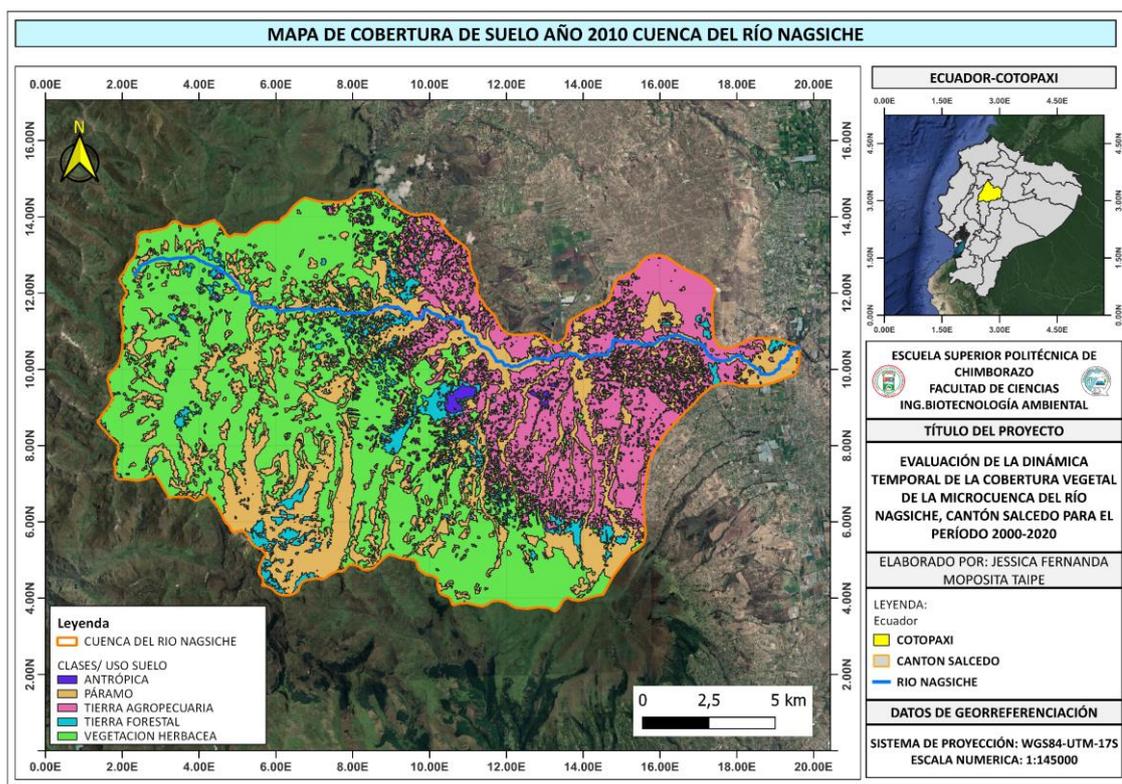
Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

En cuanto a los resultados numéricos de la distribución de la cobertura de suelo de la cuenca del río Nagsiche para el año 2000 se puede apreciar que la zona antrópica es la que menor porcentaje en hectáreas se obtuvo con 275,68 ha correspondiente a 1,1% del total de la cobertura de la cuenca, y en el caso de la tierra forestal esta mantuvo un área de 1399,34 ha correspondientes al 5,5% del total, por otro lado se puede observar que el páramo y la vegetación herbácea predominaba en esos años teniendo así que para el páramo el área en ha abarca 9186,83 siendo 36,1% del total, seguido de la vegetación herbácea con 8174,56 ha respondiendo al 31,1%. Finalmente se puede destacar que una buena parte del suelo ha sido destinado para labores agrícolas y pecuarias obteniendo un área de 6401,80 ha correspondiente al 25,2%, del total, similares resultados se encontraron por parte de (Valencia y Rivera, 2021, p. 55) en su investigación “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020”.

Donde menciona que si bien a inicios del año 2000 recién se estaban terminando de conformar las zonas antrópicas en pocos años esta cobertura ha sido la que mayor tasa de crecimiento ha tenido junto con la tierra agrícola y esto lo atribuye a que la población requiere de más alimento y necesidades económicas que son suplidas por medio de esta actividad.

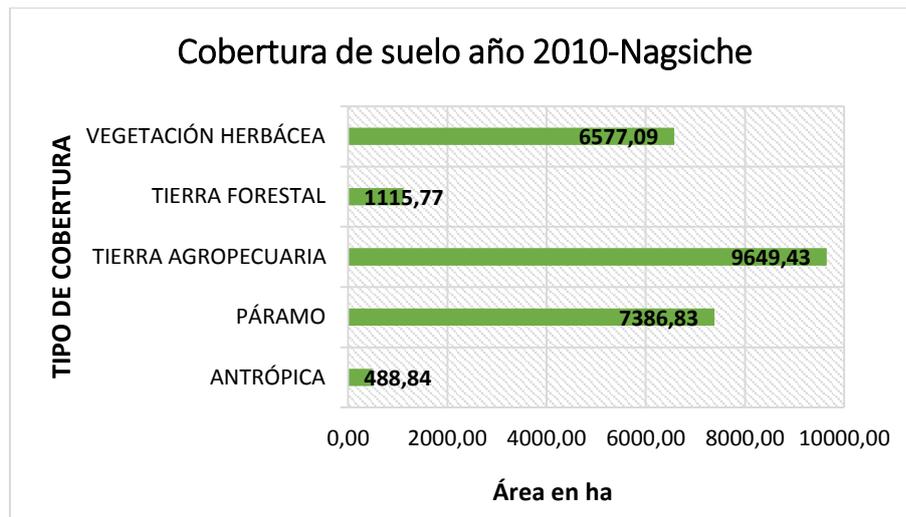
### 3.2.3. Cobertura del suelo correspondiente al año 2010

Por su parte llegando al 2010 ya se observan que después de una década la superficie de la cuenca se ha modificado destacándose que la zona antrópica ha venido ganando terreno al igual que la cobertura vegetal destinada para las zonas de cultivo, esto en función a que la población ha venido en aumento, por su contra parte se observa ya una disminución de la tierra forestal y de páramo la cual ha venido siendo reemplazada de a poco por las actividades agrícolas o bien para el cultivo de pasto y follaje, finalmente es claro evidenciar que a medida que la población aumenta esta requerirá de mayores espacios para sus actividades económicas que en su gran mayoría pertenecen al labrado de la tierra y la crianza de animales.



**Ilustración 3-3:** Mapa clasificación de cobertura para el año 2010

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

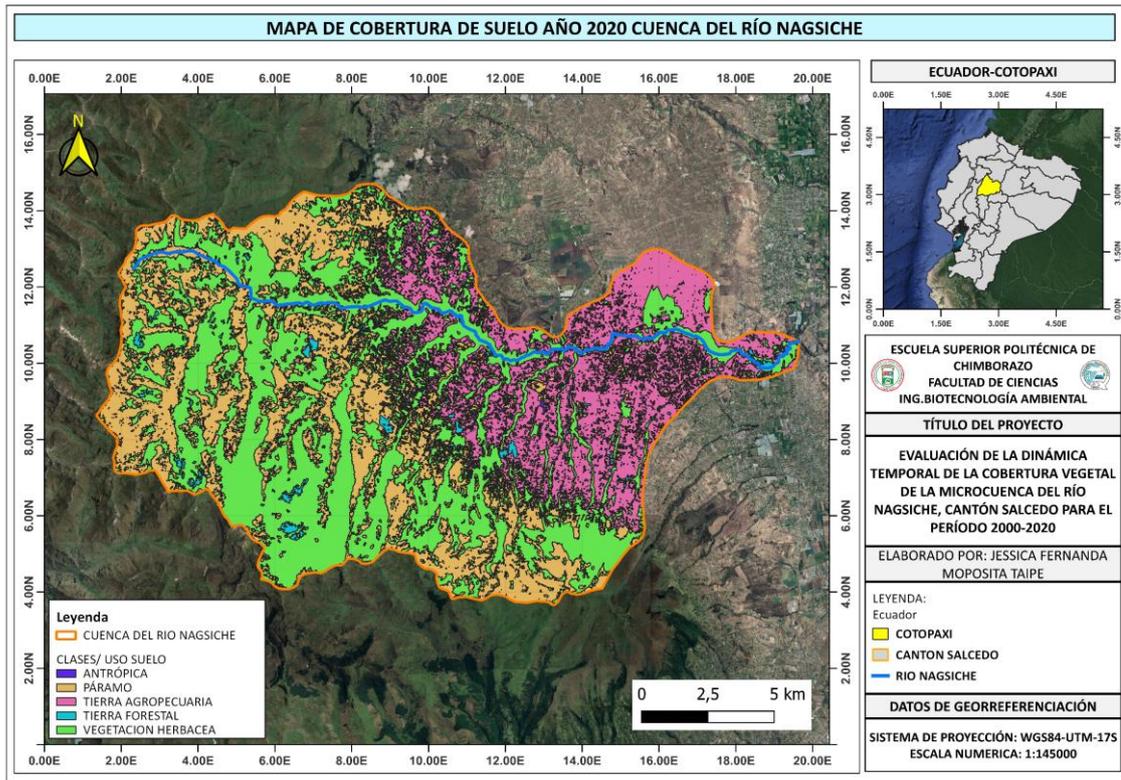


**Gráfico 4-3:** Cobertura de suelo para el año 2010 en ha

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Los valores numéricos demostraron que la zona antrópica aumento su extensión al cabo de esta década casi triplicando su superficie con aproximadamente 488,84 ha siendo el 1,9% del total de la superficie, otro de los tipos de cobertura que aumentaron para este año responde a la tierra agropecuaria la cual sufrió un incremento alcanzando las 9649,43 ha con un 37,9% por su contraparte el resto de tipos de coberturas obtuvieron una disminución en sus áreas ahora la tierra forestal mantuvo 1115,77 ha siendo el 4,4% del total, en el caso de la vegetación herbácea esta de igual manera sufrió una reducción alcanzado las 6577,09 representando el 25,9%, para el caso del páramo también sufrió una ligera reducción para este año alcanzando los 7386,83 ha que corresponden al 29,0% del total de la cuenca de estudio, similar tendencia se obtiene frente a los resultados de (Valencia y Rivera, 2021, p. 55) una progresión en las áreas de cultivo y antrópico y una reducción de la superficie de páramo y tierra forestal.

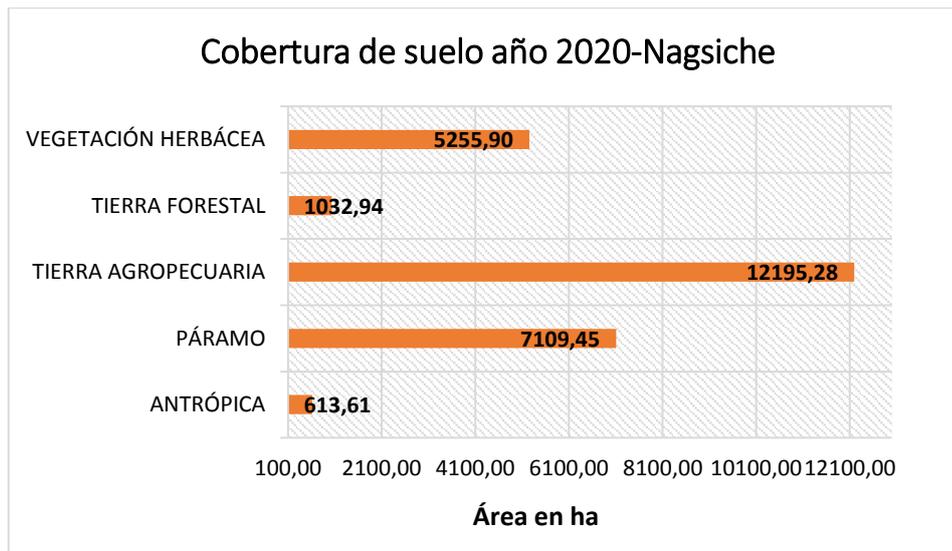
### 3.2.4. Cobertura del suelo correspondiente al año 2020



**Ilustración 4-3:** Mapa clasificación de cobertura para el año 2020

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

Ya para el año 2020 el cambio de cobertura del suelo se ha modificado de forma drástica observándose que tanto la vegetación arbustiva y forestal ha venido perdiendo superficie de forma constante, en gran parte por el avance de la tierra agropecuaria y la zona antrópica que hace 20 años estaba conformado por una pequeña comunidad y casas repartidas esporádicamente, hasta actualmente ya mantener un asentamiento mucho más congregado.



**Gráfico 5-3:** Cobertura de suelo para el año 2020 en ha

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

Los resultados estadísticos mostraron una tendencia similar a lo largo de dos décadas y esta es que la tierra productiva avanza junto con la zona antrópica de forma firme a través de los años obteniendo los siguientes resultados la superficie de asentamientos humanos alcanzó las 613,61 ha lo que representa un 2,4%, para la tierra forestal la cual a sufrido un ligero descenso con 1032,94 ha que representa el 4,1%, posteriormente si nos fijamos en la gráfica la cobertura de páramo ha sufrido otra nueva reducción en casi 500 ha menos, obtenido 7109,45 ha que responden al 27,9% de la superficie de la cuenca delimitada, pasando a la vegetación herbácea esta igual a sufrido un nuevo descenso aunque si bien no es tan abrupto de seguir con esta tendencia en unas décadas más se podría estar originando un problema ecosistémico mayor, para la vegetación herbácea se obtuvo 5255,90 ha que responden al 4,1%, finalmente la tierra destinada a las labores agropecuarias es la que más espacio le ha ganado a la cuenca alcanzando las 121195,23 ha que representan el 47,9% del total de la superficie de la cuenca del río Nagsiche finalmente contrastando los resultados totales con la dinámica de cobertura de suelo del cantón salcedo realizado por (Meneces, 2021, p. 34), la tendencia en la variabilidad de cobertura a sido permanente sin embargo en estos últimos años ya llama atención que la perdida de páramo y tierra forestal está encaminado a daños ecosistémicos por lo cual se espera que en los años venideros se trate de reforestar estas áreas y que las actividades agrícolas sean realizas de forma mucho más tecnificada.

### 3.3. Análisis de la clasificación supervisada

Con la finalidad de validar los datos obtenidos se calcularon las medidas de precisión y la índice kappa de cada una de las clasificaciones supervisadas para los 3 segmentos de estudio, además se corrobora que las correlaciones entre las bandas satelitales generadas son mayores a 0,5 por lo que muestran que el análisis tiene alta fidelidad y consistencia.

**Tabla 3-3:** Índice Kappa de la muestra de estudio

Año	Medidas de precisión			Índice kappa
	Precisión del Productor	Precisión del Usuario	Precisión Global	
2000	81.20%	79.72%	80,46%	0.79
2010	92.08%	90.13%	91.10%	0.94
2020	95.31%	94.07%	94.69%	0.96

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Los resultados de las medidas de precisión aplicadas en el modelo de clasificación supervisada mostraron que para el conjunto de datos correspondiente al año 2000 presentó una precisión global del 80,46% considerada como muy buena, cabe resaltar que de las tres composiciones esta posee una índice kappa menor de 0,79 debido a que la calidad de la imagen para esos años no se compara con la resolución de años actuales por lo que su precisión siempre difiere un poco.

Por otro lado, para la composición para el año 2010 y 2020 se obtuvieron niveles de precisión similares con 91,10% y 94,69% respectivamente lo que nos garantiza que la generación de los datos y la clasificación fue correcta.

En cuanto al índice kappa (Abraira, 2001, p. 33) menciona que este califica la fuerza de concordancia de los valores sujetos a estudio en este caso se correlaciona el grado de concordancia entre los datos tomados en campo o que se conoce frente a la clasificación realizada dentro del software Qgis teniendo así para el año 2000 una índice kappa de 0,79 considerable, para el año 2010 un valor de 0.94 correspondiente a casi perfecto y para el año 2020 un índice de 0,96 de igual manera correspondiente a casi perfecto según la escala de valor de kappa.

**Tabla 4-3:** Valores del índice Kappa

Coefficiente de kappa	Fuerza de la concordancia
0.00	Pobre (Poor)
0,01 – 0,20	Leve (Slight)
0,21 – 0,40	Aceptable (Fair)
0,41 – 0,60	Moderada (Moderate)
0,61 - 0,80	Considerable (Substantial)
0,81 – 1,00	Casi perfecta (Almost perfect)

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Finalmente, la figura correspondiente obtenido desde el complemento SCP muestra que las bandas procesadas alcanzaron una varianza acumulativa excelente en su gran mayoría bordeando el 100% de confiabilidad exceptuando una de ellas la cual presentó una varianza de 61,59 pero que no afecta significativamente los resultados generados, en base a lo dicho por (García y Silva, 2021, p. 26), toma como referencia las variancias obtenidas desde el complemento SCP y menciona que aquellas banda que bordean el 100% son las que se han procesado de manera correcta los datos contenidos en sus pixeles, por otro lado las bandas que poseen valores de varianza menor pueden deberse a que estos presentar nubes o interferencia que el software no logra interpretar a que tipo de cobertura es.

**Tabla 5-3:** Varianza acumulativa obtenido desde el SCP

Valores propios	Varianza explicada	Varianza acumulativa
0.0150	61.593	61.593
0.007	31.540	93.134
0.000078	3.193	96.327
0.000428	1.748	98.076
0.000199	0.814	98.891
0.000122	0.499	99.390
4.8037	0.196	99.586
3.8565	0.157	99.744
2.9844	0.121	99.866
1.705	0.069	99.936
1.066	0.043	99.979
3.5629	0.014	99.994
1.426	0.005	100.0

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

### 3.4. Evaluación multitemporal de las transiciones de cobertura

#### 3.4.1.1. Matriz de transición de cobertura expresado en ha

Se aplicó la matriz de transición para corroborar la tasa de cambio entre las coberturas vegetales estudiadas durante los periodos de año 2000-2010; 2010-2020 y 2000-2020 en donde se contrastó las proporciones de persistencia de cada categoría, las cuales se ubicaron de forma diagonal y se tomó los datos del área en hectáreas esto con la finalidad de brindar una idea mucho más clara del valor verdadero de regresión o avance entre los tipos de cobertura, posteriormente se realizó la tabla de intercambio de cobertura la cual si se expresará en porcentaje para detallar el balance final de los cambios, ganancias y pérdidas suscitadas entre los intervalos de tiempo seleccionados.

### 3.4.2. Matriz de transición correspondiente al año 2000-2010

**Tabla 6-3:** Matriz de transición de cobertura para el año 2000-2010

AÑO 2000-2010								
MATRIZ DE TRANSICIÓN CAMBIOS DE USO DEL SUELO								
Matriz en ha	t2 (2010)	Vegetación herbácea	Páramo	Tierra agropecuaria	Tierra forestal	Antrópica		
t1(2000)	Calificación/ Ponderación	1	2	3	4	5	Total, t1 (2000)	Pérdida
Vegetación herbácea	10	<b>2581,97</b>	4829,65	470,94	434,15	14,29	8331,01	5749,04
Páramo	20	7383,97	<b>1181,28</b>	222,16	494,21	14,23	9295,84	8114,56
Tierra agropecuaria	30	561,86	1846,62	<b>4893,45</b>	330,68	73,33	7705,95	2812,50
Tierra forestal	40	817,34	435,66	78,63	<b>97,14</b>	0,99	1429,77	1332,63
Antrópica	50	1,24	0,29	1,15	0,16	<b>82,90</b>	85,73	2,83
<b>Total: t2(2010)</b>		11346,39	8293,50	5666,33	1356,34	185,74		
<b>Ganancia</b>		8764,42	7112,22	772,88	1259,19	102,84		18011,55

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

\*Nota: Los valores en la diagonal marcados en negrita representan las superficies que se mantendrán estables entre 2000 y 2010. Los valores transversales representan las superficies de intercambio entre las clases de uso de suelo

Se obtiene la primera matriz de transición correspondiente al cambio de uso de suelo entre los años 2000 y 2010 representado en hectáreas, observándose que 7383.97 ha pasaron de páramo a vegetación herbácea durante este periodo de tiempo, en cuanto a la tierra agropecuaria esta se situó en 4893,45 ha con una tendencia a aumentar en los siguientes años, en cuanto a la tierra forestal este uso de suelo es el que mayores modificaciones ha sufrido puesto aportado en estos 10 años con 817,34 ha a la vegetación herbácea, 435,66 ha para páramo y 738,63 ha para tierra agropecuaria, finalmente en cuanto al suelo de uso antrópico la superficie se ha mantenido estable con 82,90 ha.

### 3.4.3. Matriz de transición correspondiente al año 2010-2020

**Tabla 7-3:** Matriz de transición de cobertura para el año 2010-2020

AÑO 2010-2020 CUENCA DEL RÍO NAGSICHE								
MATRIZ DE TRANSICIÓN CAMBIOS DE USO DEL SUELO								
Matriz en ha	t2 (2020)	Vegetación herbácea	Páramo	Tierra agropecuaria	Tierra forestal	Antrópica		
t1(2010)	Calificación/ Ponderación	1	2	3	4	5	Total, t1(2010)	Pérdida
Vegetación herbácea	10	<b>4002,72</b>	6813,51	431,22	175,39	1,02	11423,85	7421,135
Páramo	20	5994,39	<b>751,44</b>	1485,03	85,54	3,41	8319,82	7568,38
Tierra agropecuaria	30	831,87	398,79	<b>4427,41</b>	160,14	38,26	5856,47	1429,063
Tierra forestal	40	539,83	389,47	349,76	<b>89,00</b>	0,59	1368,64	1279,648
Antrópica	50	10,86	25,28	64,86	0,48	<b>113,39</b>	214,87	101,473
<b>Total, t2(2020)</b>		11379,67	8378,49	6758,27	510,55	156,68		
<b>Ganancia</b>		7376,95	7627,05	2330,87	421,55	43,28		17799,69

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

\*Nota: Los valores en la diagonal marcados en negrita representan las superficies que se mantendrán estables entre 2010 y 2020. Los valores transversales representan las superficies de intercambio entre las clases de uso de suelo.

Se presenta la matriz de transición correspondiente al periodo de tiempo entre el año 2010 al 2020 se puede resaltar que la tierra agropecuaria mantiene una tendencia de crecimiento al igual que la zona antrópica la cual ha sumado área superficial, los resultados muestran que se han transferido 5994,39 ha de páramo a vegetación herbácea, en cuanto a la tierra agropecuaria esta se ubica con 4427,41 ha y los usos de suelo que más han aportado a este conjunto han sido el páramo el cual ha transferido 1485,03 ha a tierra agropecuaria al igual que la vegetación herbácea la cual cerca de 431,22 ha han pasado a formar parte de la tierra agropecuaria, en cuanto a la tierra forestal esta mantenido una superficie de 89,00 ha y las coberturas que han apartado para este sistema si bien no son significativas se puede mencionar a la tierra agropecuaria ha perdido 160,14 ha frente a la tierra forestal, finalmente en el caso de la cobertura antrópica prácticamente no ha cedido área al resto de coberturas y su valor en ha estable promedio durante este tiempo ha sido de 113,39 ha.

### 3.4.4. Matriz de transición correspondiente al año 2000-2020

**Tabla 8-3:** Matriz de transición de cobertura para el año 2000-2020

AÑO 2000-2020-CUENCA DEL RÍO NAGSICHE								
MATRIZ DE TRANSICIÓN CAMBIOS DE USO DEL SUELO								
Matriz en ha	t2 (2020)	vegetación herbácea	Páramo	Tierra agropecuaria	Tierra forestal	Antrópica		
t1(2000)	Calificación/ Ponderación	1	2	3	4	5	Total 2000	Pérdida
vegetación herbácea	10	<b>6308,95</b>	1257,33	698,91	104,35	0,66	8370,187	2061,241
Páramo	20	2879,91	<b>5938,84</b>	474,78	167,40	3,98	9464,913	3526,072
Tierra agropecuaria	30	1437,98	747,44	<b>5484,47</b>	201,61	40,27	7911,765	2427,297
Tierra forestal	40	786,14	525,27	79,87	<b>41,59</b>	0,72	1433,594	1392,003
Antrópica	50	0,47	0,98	1,00	0,14	<b>208,20</b>	210,788	2,588
<b>Total, t2(2020)</b>		11413,45	8469,86	6739,03	515,09	253,83		
<b>Ganancia</b>		5104,50	2531,01	1254,56	473,50	45,63		9409,20

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

\*Nota: Los valores en la diagonal marcados en negrita representan las superficies que se mantendrán estables entre 2000 y 2020. Los valores transversales representan las superficies de intercambio entre las clases de uso de suelo

Finalmente se presenta la matriz de transición correspondiente al periodo comprendido entre el año 2000 y 2020, podemos destacar que la vegetación herbácea correspondiente a pastos, follaje entre otros abarcado una gran extensión con 2879,91 ha, por otro lado la tierra agropecuaria mantuvo su tendencia de avance y su superficie promedio estable alcanza los 5484,47 ha, siendo el páramo y la vegetación herbácea las superficies que mayor porcentaje han transferido con 698,91 ha y 474,78 ha respectivamente, en el caso de la tierra forestal alrededor de 786,14 ha se han convertido en vegetación herbácea, finalmente la zona antrópica muestra la misma tendencia de cambios mínimos de esta cobertura, apenas 0,47 ha se han devuelto a la vegetación herbácea y un 0,98 se ha retornado en páramo, cabe resaltar que siempre habrá un margen de error dentro de la clasificación supervisada aunque mínimo dependerá de varios factores desde el tratamiento de las imágenes satelitales y la interpretación por parte del software a los píxeles asignados con la cobertura de suelo correspondiente.

#### 3.4.4.1. Índice de cambio

Con base a los resultados obtenidos por la matriz de transición se presenta la tabla de índice de cambio la cual mide al grado de correlación de los datos sujetos a investigación este índice de

cambio se representará en porcentaje que resulta de la transformación de las coberturas que inicialmente estaban denotadas por ha.

Es conveniente mencionar que dichos cambios son propios de este estudio y pueden variar ligeramente de acuerdo con el intervalo entre tiempos elegidos y el grado de procesamiento de las imágenes satelitales.

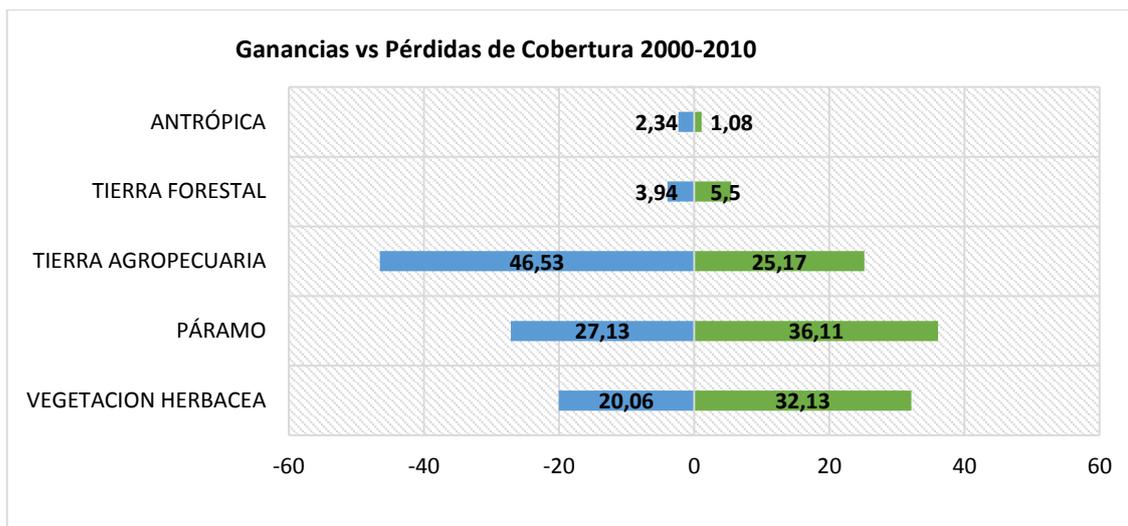
#### 3.4.4.2. Índice de cambio para el periodo 2000-2010

**Tabla 9-3:** Matriz índice de cambio 2000-2010

Cobertura 2000 vs 2010		Superficie (ha)		Tasas de cambio neto	Tasas de intercambio (%)	Porcentajes	
Ítem	Descripción	2000	2010	2000-2010	2000-2010	2000	2010
1	VEGETACION HERBACEA	8174,56	6577,085	-0,042555048	-4,255504797	32,13%	26,08%
2	PÁRAMO	9186,834	7386,834	-0,042676998	-4,267699783	36,11%	29,29%
3	TIERRA AGROPECUARIA	6401,803	9649,427	0,085525035	8,552503501	25,17%	38,26%
4	TIERRA FORESTAL	1399,34	1115,768	-0,044281197	-4,428119667	5,50%	4,42%
5	ANTRÓPICA	275,675	488,84	0,121382748	12,13827482	1,08%	1,94%
<b>Total</b>		<b>25438,212</b>	<b>25217,954</b>				

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Se presenta la tabla correspondiente al índice de cambio expresado en porcentaje para el periodo comprendido entre los años 2000 y 2010, del cual podemos destacar que la cobertura que mayor cambio ha sufrido ha sido el páramo junto con la vegetación herbácea con un 36,11% y 32,13% respectivamente, este cambio de cobertura en su mayoría ha sido reemplazada por cobertura agrícola con base a los mapas desarrollados y al valor de 38,26 % que la tabla refleja, en el caso de la tierra forestal durante este periodo habido un descenso de su cobertura siendo para el 2000 un 5,52% y para el 2020 una reducción del 4,42 %, al comparar los resultados efectuados por (Cepeda et al., 2022, p. 34) en su estudio “Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020” si bien sus resultados son a nivel del cantón estos guardan la misma tendencia en el cambio de cobertura de nuestra cuenca, y es que las zonas más afectadas han sido las tierras forestales y el páramo en general áreas reemplazadas por zonas de cultivo o asentamientos humanos.



**Gráfico 6-3:** Dinámica de cobertura 2000-2010

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Gráficamente podemos observar la dinámica de ganancias (color azul) vs pérdidas (color verde), de las coberturas que han sido estudiadas; es así como se demostró que la tierra dentro del periodo 2010 la zona antrópica mantuvo un crecimiento sostenido y no cedió superficie considerable al resto de coberturas, para el caso de la tierra forestal al cabo de una década la pérdida fue superior con un 5,5% de pérdida de cobertura frente a la ganancia de 3,94%, para el caso de la tierra agropecuaria esta fue la que mayor superficie ganó con un 46,53% y una pérdida de 25,17% , para el caso del páramo se observó una tendencia de reducción con un 36,11% respectivamente, finalmente la vegetación herbácea también sufrió una reducción considerable de 32,13% motivado principalmente por el reemplazo de estas zonas que inicialmente tenían vegetación propia de la zona, a zonas con pastos.

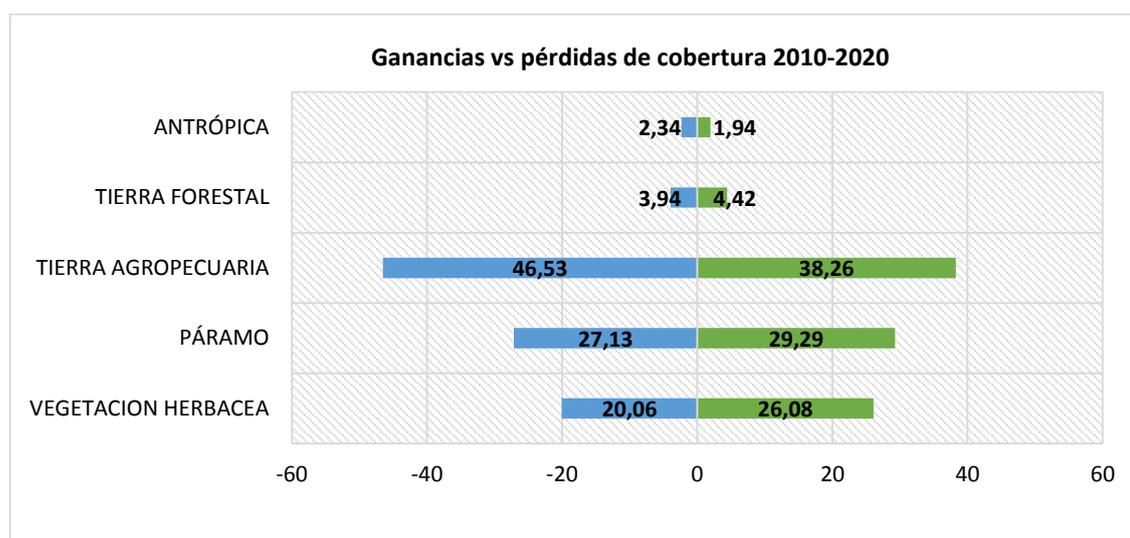
#### 3.4.4.3. Índice de cambio para el periodo 2010-2020

**Tabla 10-3:** Matriz índice de cambio 2010-2020

Cobertura 2010 vs 2020		Superficie (ha)		Tasas de cambio neto	Tasas de intercambio (%)	Porcentajes	
Ítem	Descripción	2010	2020	2010-2020	2010-2020	2010	2020
1	VEGETACION HERBACEA	8174,56	5255,90	-0,0201791	-2,0179144	26,08%	20,06%
2	PÁRAMO	9186,834	7109,45	-0,0034734	-0,3473439	29,29%	27,13%
3	TIERRA AGROPECUARIA	6401,803	12195,281	0,0215146	2,1514584	38,26%	46,53%
4	TIERRA FORESTAL	1399,34	1032,944	-0,0069873	-0,6987291	4,42%	3,94%
5	ANTRÓPICA	275,675	613,613	0,0208813	2,0881317	1,94%	2,34%
<b>Total</b>		<b>25217,95</b>	<b>26207,19</b>				

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

Para el caso del intervalo entre el 2010 y 2020 se observa un ligero equilibrio entre los cambios de cobertura de suelo, aun así es claro indicar que aún persiste la regresión de la cobertura de páramo principalmente, para el 2020 este alcanzó un índice de cambio del 27,13 % en el caso de la vegetación herbácea esta llegó al 20,06 % en el 2020, para el caso de la tierra agropecuaria del 2010 al 2020 alcanzó un índice de cambio del 46,53% para el caso de la zona antrópica esta ha sufrido un cambio del 2,34% respondiendo a la tasa de crecimiento poblacional.



**Gráfico 7-3:** Dinámica de cobertura 2010-2020

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

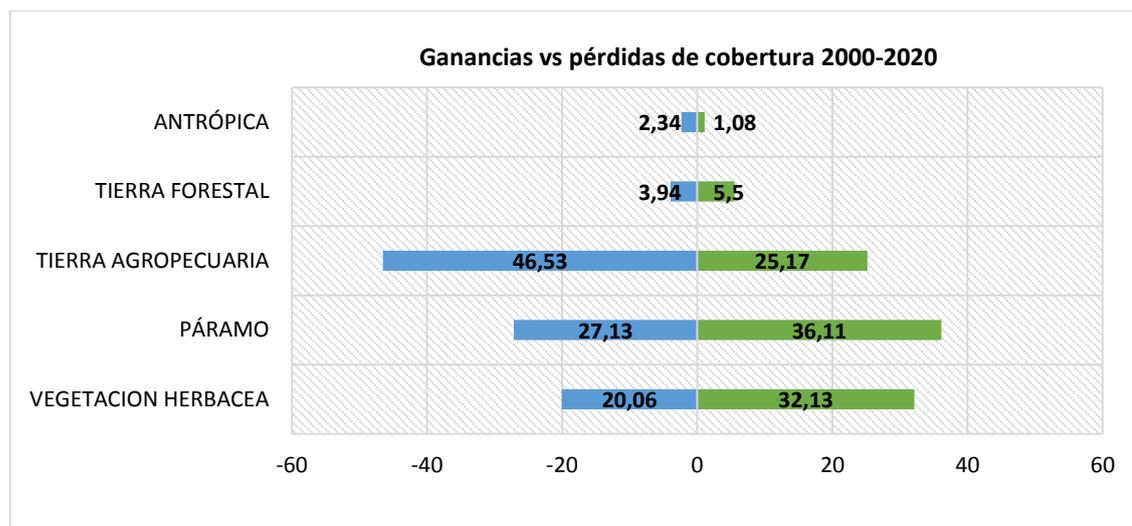
#### 3.4.4.4. Índice de cambio para el periodo 2000-2020

**Tabla 11-3:** Matriz índice de cambio 2000-2020

Cobertura 2000 vs 2020		Superficie (ha)		Tasas de cambio neto	Tasas de intercambio (%)	Porcentajes	
Ítem	Descripción	2000	2020	2000-2020	2000-2020	2000	2020
1	VEGETACION HERBACEA	8174,56	5255,90	-0,0256463	-2,5646342	32,13%	20,06%
2	PÁRAMO	9186,834	7109,45	-0,0149661	-1,4966083	36,11%	27,13%
3	TIERRA AGROPECUARIA	6401,803	12195,281	0,0386377	3,8637715	25,17%	46,53%
4	TIERRA FORESTAL	1399,34	1032,944	-0,0176996	-1,7699590	5,50%	3,94%
5	ANTRÓPICA	275,675	613,613	0,0481924	4,8192408	1,08%	2,34%
<b>Total</b>		<b>25217,95</b>	<b>26207,19</b>				

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

En cuanto a los resultados comprendidos entre el periodo 2000 al 2020 se observó una clara ventaja de la tierra agropecuaria frente al resto de coberturas, fue la que mayor ganancia de superficie tuvo y con un cambio veloz pasando del 25,17% en el año 2000 al 46,53% para el año 2020, por su contraparte el páramo fue el tipo de cobertura más afectada pasando de un 36,11% de permanencia en el año 2000 a un 27,13% para finales del 2020, en referencia a la vegetación arbustiva esta presento una reducción significativa pasando del 32,13% en el año 2000 hasta alcanzar un 20,06% del total de la cobertura.



**Gráfico 8-3:** Dinámica de cobertura 2000-2020

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

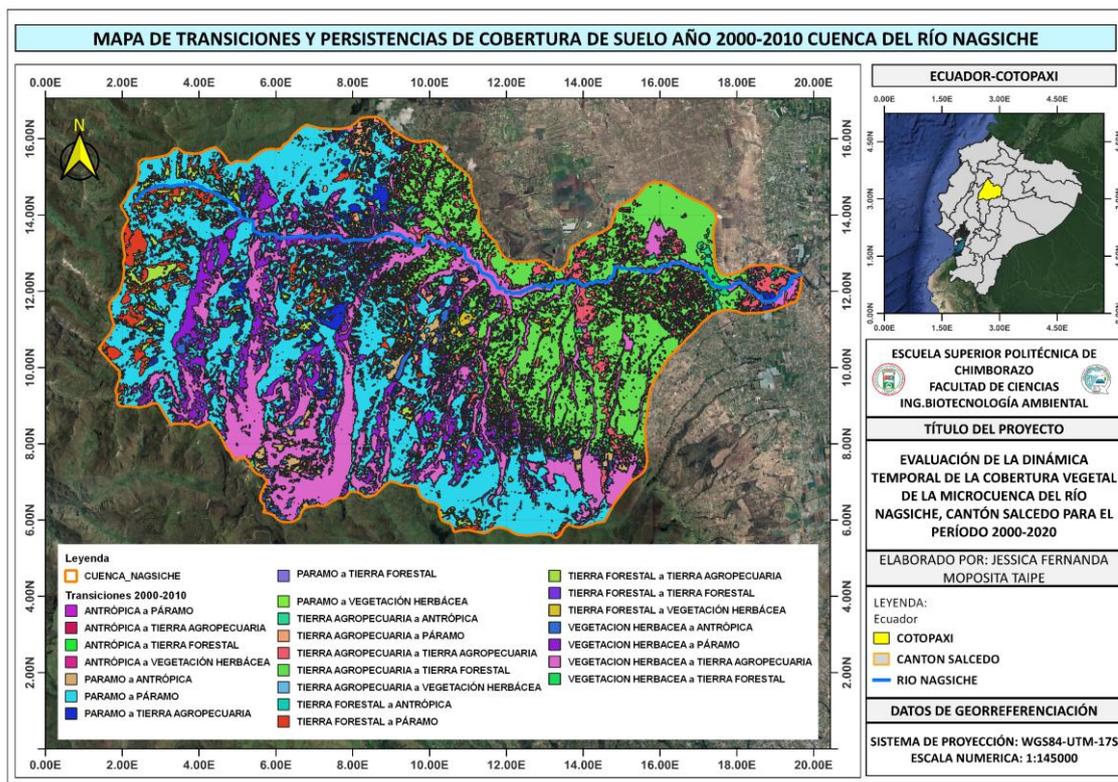
Finalmente, el diagrama de ganancias vs pérdidas de cobertura para el intervalo año 2000 al 2020 resume la situación por la que atravesado la cuenca en cuanto a su cobertura en estos últimos 20 años, siendo así la tierra agrícola se ubica como la cobertura predominante con un 46,53% de ganancia, en cuanto al páramo se ubica como la segunda cobertura en sufrir una mayor pérdida de superficie pues si bien se observado una ligera recuperación con un 27,13% las perdidas lo superan en 8 puntos porcentuales con un total de 36,11%, en tercer lugar tenemos a la cobertura vegetación herbácea, la cual también ha presentado una reducción de 32,13%, por su parte la tierra forestal el balance general es que se ha reducido pero no significativamente y en el caso de la zona antrópica esta no ha cedido espacio de su cobertura al resto de variables estudiadas.

### 3.4.5. Transiciones y persistencias para el periodo 2000-2010

**Tabla 12-3:** Tabla de persistencias y transiciones entre el año 2000 y 2010

CÓDIGO	CAMBIO	Área en ha
		2000-2010
11	VEGETACION HERBACEA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	2581,972
12	VEGETACION HERBACEA a PÁRAMO	4829,65
13	VEGETACION HERBACEA a TIERRA AGROPECUARIA	470,944
14	VEGETACION HERBACEA a TIERRA FORESTAL	434,149
15	VEGETACION HERBACEA a ANTRÓPICA	14,294
21	PARAMO a VEGETACIÓN HERBÁCEA	7383,974
22	PARAMO a PÁRAMO	1181,278
23	PARAMO a TIERRA AGROPECUARIA	222,156
24	PARAMO a TIERRA FORESTAL	494,205
25	PARAMO a ANTRÓPICA	14,226
31	TIERRA AGROPECUARIA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	561,864
32	TIERRA AGROPECUARIA a PÁRAMO	1846,619
33	TIERRA AGROPECUARIA a TIERRA AGROPECUARIA	4893,452
34	TIERRA AGROPECUARIA a TIERRA FORESTAL	330,682
35	TIERRA AGROPECUARIA a ANTRÓPICA	73,332
41	TIERRA FORESTAL a VEGETACIÓN HERBÁCEA	817,341
42	TIERRA FORESTAL a PÁRAMO	435,662
43	TIERRA FORESTAL a TIERRA AGROPECUARIA	78,634
44	TIERRA FORESTAL a TIERRA FORESTAL	97,142
45	TIERRA FORESTAL a ANTRÓPICA	0,989
51	ANTRÓPICA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	1,236
52	ANTRÓPICA a TIERRA FORESTAL	0,292
53	ANTRÓPICA a TIERRA AGROPECUARIA	1,146
54	ANTRÓPICA a ANTRÓPICA	10,157

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023



**Ilustración 5-3:** Mapa de persistencias y transiciones 2000-2010

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

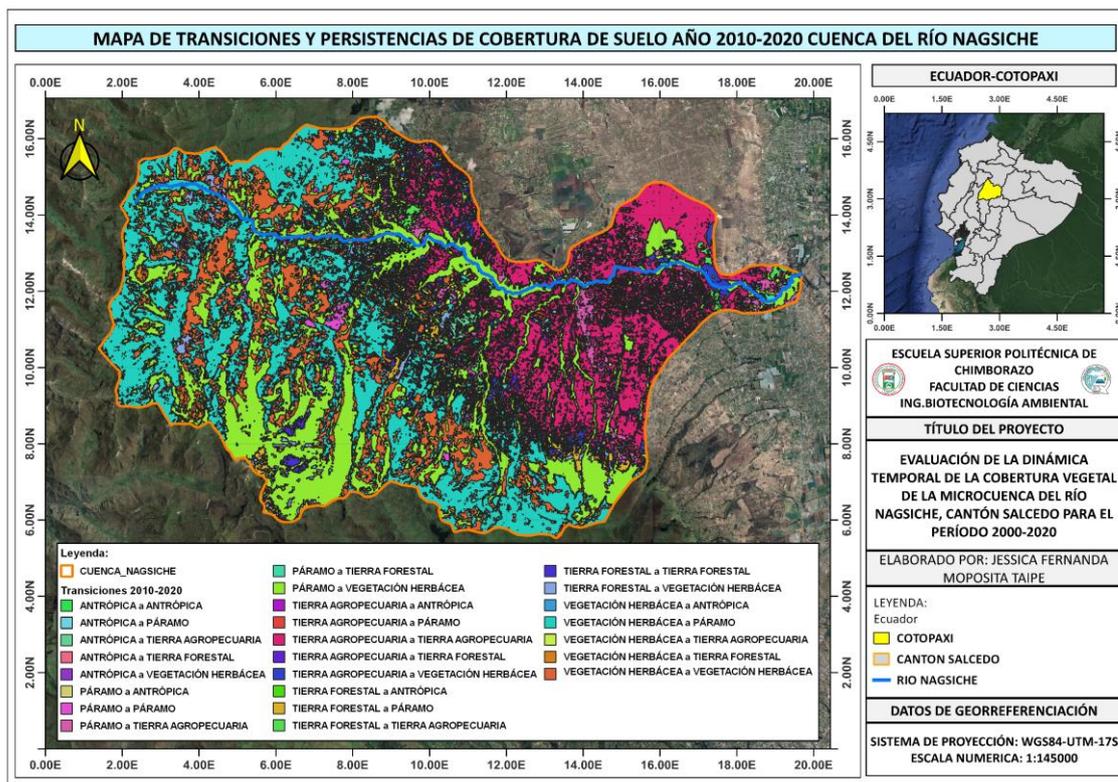
Los resultados de la matriz de transición y persistencia de la cobertura de suelo de la cuenca del río Nagsiche muestran que durante la primera década comprendida entre los años 2000 y 2010 la vegetación herbácea mantuvo una superficie de 2581,972 ha, para el caso del páramo esta se ubicó con una persistencia de 1181,278 ha, considerando que parte de esta cobertura ya ha sido desplazada por zonas de cultivo en especial, en el caso de la tierra agrícola fue la superficie que mayor tasa de persistencia mantuvo con 4893,452 ha, mientras que la tierra forestal que en la cuenca no es tan abundante se ubicó con 97,142 ha respectivamente, en referencia a lo mencionado por (Pérez et al., 2022, p. 16), en su estudio comparte similitud en sus resultados donde menciona que a medida que los años avanzan la modificación de la superficie es constante y casi no se observa una recuperación de ha de determinado ecosistema a los que había hace una o dos décadas atrás, sobre todo por la intervención de la mano del hombre.

### 3.4.6. Transiciones y persistencias para el periodo 2000-2010

**Tabla 13-3:** Tabla de persistencias y transiciones entre el año 2010 y 2020

		Área en ha
CÓDIGO	CAMBIO	2010-2020
11	VEGETACIÓN HERBÁCEA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	4002,719
12	VEGETACIÓN HERBÁCEA a PÁRAMO	6813,512
13	VEGETACIÓN HERBÁCEA a TIERRA AGROPECUARIA	431,215
14	VEGETACIÓN HERBÁCEA a TIERRA FORESTAL	175,389
15	VEGETACIÓN HERBÁCEA a ANTRÓPICA	1,019
21	PÁRAMO a VEGETACIÓN HERBÁCEA	5994,393
22	PÁRAMO a PÁRAMO	1051,442
23	PÁRAMO a TIERRA AGROPECUARIA	1485,034
24	PÁRAMO a TIERRA FORESTAL	85,542
25	PÁRAMO a ANTRÓPICA	3,411
31	TIERRA AGROPECUARIA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	831,866
32	TIERRA AGROPECUARIA a PÁRAMO	398,791
33	TIERRA AGROPECUARIA a TIERRA AGROPECUARIA	4427,405
34	TIERRA AGROPECUARIA a TIERRA FORESTAL	160,143
35	TIERRA AGROPECUARIA a ANTRÓPICA	38,263
41	TIERRA FORESTAL a VEGETACIÓN HERBÁCEA	539,832
42	TIERRA FORESTAL a PÁRAMO	389,467
43	TIERRA FORESTAL a TIERRA AGROPECUARIA	349,758
44	TIERRA FORESTAL a TIERRA FORESTAL	88,995
45	TIERRA FORESTAL a ANTRÓPICA	0,591
51	ANTRÓPICA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	10,857
52	ANTRÓPICA a PÁRAMO	25,277
53	ANTRÓPICA a TIERRA AGROPECUARIA	64,862
54	ANTRÓPICA a TIERRA FORESTAL	0,477
55	ANTRÓPICA a ANTRÓPICA	32,392

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023



**Ilustración 6-3:** Mapa de transiciones y persistencias periodo 2010-2020

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

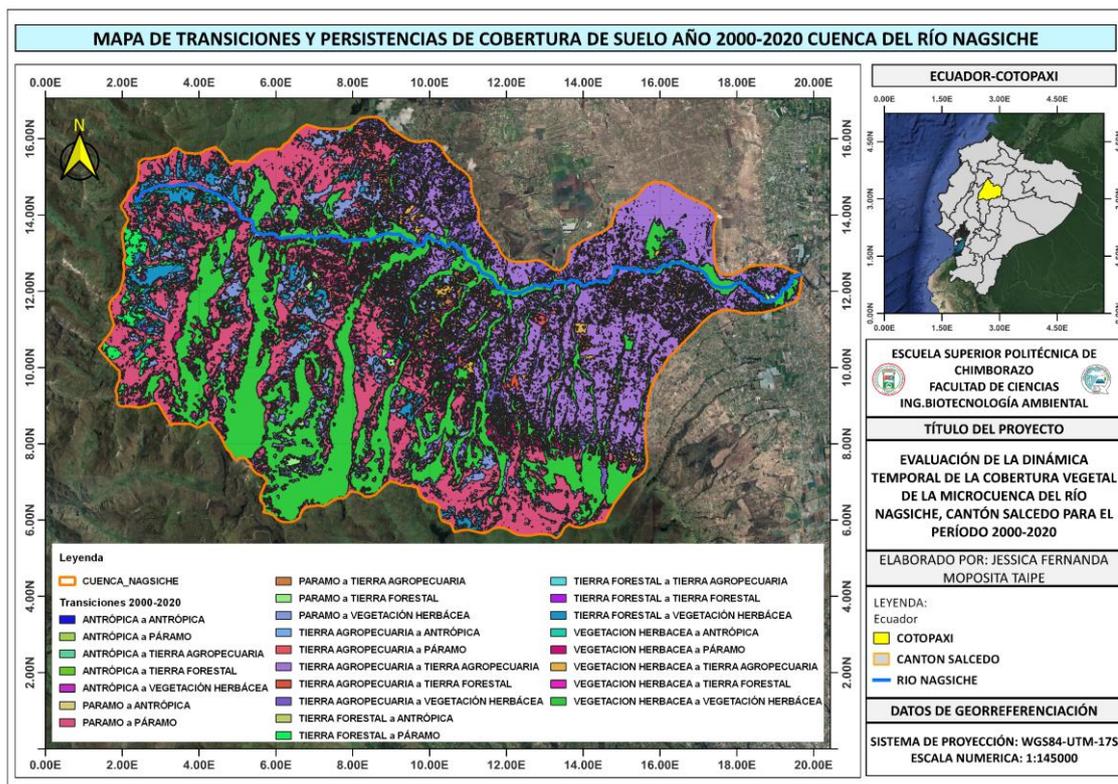
En cuanto a los resultados comprendidos entre los periodos de 2010 y 2020 podemos concluir que existen cambios significativos con ligeras reducciones en la cobertura de páramo, por otro lado, la vegetación herbácea aumento esto debido a que la introducción del pasto y follaje para la ganadería significó ocupar mucha más superficie de la cuenca, es así que para vegetación herbácea esta mantiene un valor de 4002,719 ha, para el caso del páramo con 1051,442 ha, por su parte la tierra agropecuaria mantiene su persistencia con 4427,405 ha siendo la más relevante dentro de la cuenca, finalmente la tierra forestal con 88,995 ha, sufre una ligera caída mientras que el área destinada para las zonas antrópicas aumento a diferencia de hace una década esta vez con 32,392 ha del total de la superficie, es comparación con el trabajo de (García y Silva, 2021, p. 13-22) es preciso aclarar que las áreas estimadas siempre mantendrán un ligero cambio y estas dependerán del grado de tratamiento y calidad de las imágenes satelitales.

### 3.4.7. Transiciones y persistencias para el periodo 2000-2010

**Tabla 14-3:** Tabla de persistencias y transiciones entre el año 2000 y 2020

		Área en ha
CÓDIGO	CAMBIO	2010-2020
11	VEGETACION HERBACEA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	6308,946
12	VEGETACION HERBACEA a PÁRAMO	1257,327
13	VEGETACION HERBACEA a TIERRA AGROPECUARIA	698,91
14	VEGETACION HERBACEA a TIERRA FORESTAL	104,346
15	VEGETACION HERBACEA a ANTRÓPICA	0,658
21	PARAMO a VEGETACIÓN HERBÁCEA	2879,908
22	PARAMO a PÁRAMO	5938,841
23	PARAMO a TIERRA AGROPECUARIA	474,78
24	PARAMO a TIERRA FORESTAL	167,401
25	PARAMO a ANTRÓPICA	3,983
31	TIERRA AGROPECUARIA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	1437,979
32	TIERRA AGROPECUARIA a PÁRAMO	747,436
33	TIERRA AGROPECUARIA a TIERRA AGROPECUARIA	5484,468
34	TIERRA AGROPECUARIA a TIERRA FORESTAL	201,612
35	TIERRA AGROPECUARIA a ANTRÓPICA	40,27
41	TIERRA FORESTAL a VEGETACIÓN HERBÁCEA	786,141
42	TIERRA FORESTAL a PÁRAMO	525,273
43	TIERRA FORESTAL a TIERRA AGROPECUARIA	79,872
44	TIERRA FORESTAL a TIERRA FORESTAL	41,591
45	TIERRA FORESTAL a ANTRÓPICA	0,717
51	ANTRÓPICA a VEGETACIÓN HERBÁCEA	0,471
52	ANTRÓPICA a PÁRAMO	0,978
53	ANTRÓPICA a TIERRA AGROPECUARIA	1,002
54	ANTRÓPICA a TIERRA FORESTAL	0,137
55	ANTRÓPICA a ANTRÓPICA	49,23

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023



**Ilustración 7-3:** Mapa de transiciones y persistencias periodo 2000-2020

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

Finalmente, en el caso de las transiciones y persistencias en el intervalo de tiempo 2000 al 2020 se observa una tendencia similar donde el páramo y la tierra forestal no ha logrado recuperar mucha superficie y la zona antrópica ha ganado una superficie considerable es así que durante este periodo la vegetación herbácea a sostenido un cambio de 6308,946 ha, el páramo con 5938,841 ha, la tierra forestal con alrededor de 41,591 ha, la cobertura agrícola es la que más espacio a ganado y se ha mantenido durante este tiempo con 5484,468 ha, finalmente la zona antrópica con 49,23 ha, comparando los resultados con la información provista por el ministerio del ambiente en su geo portal (Aguilar et al., 2020, p. 22), podemos concluir que la cobertura poseen valores similares lo que nos conduce afirmar que el procedimiento de clasificación supervisada se ha realizado de manera idónea.

### 3.5. Análisis de la transición de cobertura de la cuenca del río Nagsiche

Una vez obtenido tanto los resultados estadísticos como observables podemos mencionar las marcadas diferencias entre el cambio de cobertura y uso de suelo durante los distintos periodos de tiempo, es así que podemos empezar mencionando que durante el año 2000 el Ecuador en general concentraba sus masas poblacionales en las capitales de provincia mientras que el resto de su superficie se visualizaba pequeños asentamientos humanos.

Por su parte la vegetación nativa como el páramos, tierra forestal mantenía una relevancia y espacio físico superior, al cabo de 10 años se observó un gran salto y modificación de las coberturas y es que a medida que la población crecía requería de zonas de cultivo para satisfacer las necesidades de consumo y económicas es así que al cabo de esos 10 años la cobertura que más destacó en su avance fue la tierra agropecuaria, por su parte la tierra forestal y páramo fue la que mayor afectación tuvo pues sus superficies fueron modificadas.

Finalmente llegando al año 2020 la situación se mantuvo similar si bien se observó una ligera recuperación de superficie de páramo la vegetación herbácea ganó terreno junto con la zona antrópica alcanzado un total de alrededor de 60 ha.



**Ilustración 8-3:** Actividades que fomentan la pérdida del páramo

**Realizado por:** Moposita Taipe, Jessica, 2023

## CONCLUSIONES

- Los resultados de la dinámica temporal de cobertura partieron con la verificación del grado de precisión de los ráster generados; donde los mapas generados para los años 2000,2010,2020 obtuvieron valores de precisión globales aceptables y casi perfectas, (80,46%,91.10%,94.69%) respectivamente y coeficientes kappa aceptables (0.79,0.94,0.96) de igual maneja las matriz de índice y ganancia de cobertura demostraron que para el periodo 2000-2010 el tipo de suelo que mayor ganancia fue la tierra agropecuaria con un 36,11% por otro lado la cobertura de páramo y vegetación herbácea fueron las que mayor reducción presentaron, alcanzando un 29,29% y 26,08% respectivamente, para el periodo 2010 al 2020 la tendencia fue similar siendo la tierra agropecuaria quien mantenía el mayor avance de superficie con 46,53%, finalmente la valoración general comprendida entre los años 2000 y 2020 se resalta la progresión por parte de la zona antrópica y la pérdida de tierra forestal y el páramo reemplazo con vegetación herbácea y tierra agropecuaria la cual ha estado ligado al crecimiento de la población de la cuenca de estudio.
- Mediante el empleo de software SIG se pudo determinar los principales parámetros morfológicos asociados a la cuenca del río Nagsiche, es así como el área calculada fue de aproximadamente 25702.7 ha, la longitud del cauce principal fue de 26,6 km, en cuanto a los parámetros asociados a la forma de la cuenca los resultados arrojados determinaron un factor de Horton de 0,36 lo que nos indica una cuenca ni alargada ni ensanchada, en cuanto a los parámetros asociados al relieve la cuenca posee un buen drenaje y con una erosión moderada, las cota mínima se ubica a los 2595.05 msnm y su cota máxima a los 454101 msnm, finalmente la curva hipsométrica demostró que la cuenca se encuentra en una etapa joven en transición a madura.
- Se empleó imágenes satelitales Landsat 7 previamente tratadas mediante software SIG correspondientes a los años 2000,2010 y 2020 con una cobertura de nubes inferior al 10%, se realizó la clasificación supervisada mediante el complemento Semi Automatic Classification obteniendo 5 regiones de interés (ROI's) las cuales reflejaron el tipo de cobertura vegetal más resaltante de la cuenca siendo estas; Páramo, zona antrópica, tierra agropecuaria, tierra forestal y vegetación herbácea.

- Se concluyó que la cobertura de suelo de la cuenca del río Nagsiche durante un periodo de 20 años sufrió varias modificaciones que ecosistémicamente está contribuyendo en la pérdida de la cobertura endémica de la cuenca albergada en los suelos de páramo, tierra forestal y vegetación herbácea, el avance sostenido de la población ha fomentado que la tierra agropecuaria se expanda por la zona de estudio, considerando que las malas prácticas agrícolas y que la tendencia de recuperación o de reforestación de las zonas de amortiguamiento son nulas se espera que en los años venideros se pierda hasta el 50% del total de la cobertura endémica de la cuenca, de ahí la importancia de tomar medidas y acciones que frenen de forma óptima el avance no tecnificado de ciertas coberturas en particular.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda para este tipo de estudios emplear imágenes satelitales con un porcentaje de cobertura de nubes inferior al 10% esto con el objetivo de que al momento de realizar la clasificación supervisada el software no confunda esta cobertura con otro tipo de uso de suelo y de esta manera obtener los resultados más precisos posibles, además se debe hacer hincapié en el tratamiento previo de estas imágenes antes de la clasificación.
- Para corroborar los resultados dictaminados por el software se recomienda realizar una visita técnica en campo y determinar si las áreas gestionadas por medio del software SIG coinciden y si existe una modificación poderla subsanar dentro del programa asignando el área y cobertura específica.
- Se recomienda avanzar en los estudios de teledetección y cambios de cobertura del suelo con el objetivo de adoptar medidas en post del mejoramiento y regeneración de los suelos sobre todo endémicos del Ecuador, además el uso de estas técnicas permite ahorrar costos y ajustar metodologías de investigación que abarquen grandes extensiones de terreno.

## **GLOSARIO**

**Escorrentía:** Es un proceso de carácter físico el cual consiste en el escurrimiento del agua producto de la precipitación a través de la red de drenaje hasta alcanzar un tributario mayor o en su defecto la red fluvial indispensable para completar el ciclo hidrológico (Meneces, 2021, p. 17).

**Cobertura y uso de suelo:** Hace referencia al material físico de la superficie terrestre, diferenciándose el uso del suelo aquellas zonas que están definidas por las actividades o asentamientos humanos (Miguel y Sircar, 1990, p. 33).

**Curvas de nivel:** No es más que la presentación gráfica de líneas que cortan la superficie del terreno mediante un plano o conjuntos de planos paralelos entre sí, tradicionalmente las curvas de nivel están asociadas al relieve y pendientes del terreno (Vílchez, 2000, p. 33).

**DEM:** Modelo de elevación digital (Vílchez, 2000, p. 24).

**Ráster:** Son fotografías aéreas digitales las cuales están conformadas por miles de píxeles cada uno de ellos conteniendo información relevante sobre fenómenos reales que se suscitan dentro del planeta (Beltrán y Montesinos, 2008, p. 17).

**ROI:** Dentro del complemento SCP para la clasificación supervisada de suelo ROI es la abreviatura para mencionar regiones de interés en este caso las regiones que se asigna a un tipo en particular de cobertura (Beltrán y Montesinos, 2008, p. 17)

## BIBLIOGRAFÍA

**ABRAIRA, V.** "El índice kappa". *SEMERGEN - Medicina de Familia*, 2001, vol. 27, no 5, pp. 247-249., ISSN 1138-3593. DOI 10.1016/S1138-3593(01)73955-X.

**ACEVEDO, Ingrid. et al.** "Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de quíbor. Ii. Calidad del suelo". *Bioagro*, 2021, vol. 33, no 2, pp. 127-134., ISSN 2521-9693, 1316-3361.

**AGUILAR, Samantha Abigail Vega. et al.** "Evidencias del cambio climático en Ecuador". *Revista Científica Agroecosistemas*, 2020, vol. 8, no 1, pp. 72-76., ISSN 2415-2862.

**ALPERÍN, Marta Inés. et al.** "Caracterización espacial de los tipos de cobertura de suelo usando técnicas geoestadísticas a partir de información satelital". *Revista de la Facultad de Agronomía* [en línea], 2002, vol. tomo 105 (1), [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 1669-9513. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/15668>.

**ARIZA PÉREZ, Nohora Isabel.** "Elaboración de la Capa de Coberturas de la Tierra del municipio de Cajicá-Cundinamarca, con la finalidad de generar una herramienta de planificación, mediante el uso de Teledetección Espacial, imágenes de satélite y software Erdas Imagine y Qgis.". En: Accepted: 2019-02-22T16:30:22Z [en línea], 2018, [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20448>.

**BALDINI, Carolina. et al.,** 2016. "Territorio en movimiento: análisis de cambio del uso/cobertura del suelo en el partido de La Plata entre 2005 y 2015". *IIUFRO Landscape Ecology Latin-American y II IALE Latin-American Congress (Temuco, Chile, 2016)* [en línea]. S.l.: s.n., [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60522>.

**BELTRÁN, P. & MONTESINOS, S.** "LAS TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN POR SATELITE EN VITICULTURA DE PRECISIÓN". En: Accepted: 2019-04-12T08:58:31Z [en línea], 2008, [Consulta: 13 enero 2023]. Disponible en: <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/1859>.

**CEPEDA, Yenson Mogro. et al.** "Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020". *Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas*, 2022, vol. 6, no 2, pp. 106-116., ISSN 2602-8255.

**CHANGALOMBO VALENCIA, Diego Armando. & RIVERA RIVERA, Jhonatan Alexander.**, Evaluación de la dinámica temporal de la cobertura vegetal del Cantón Salcedo mediante el uso de imágenes satelitales desde el año 2000 al 2020 [en línea]. (bachelorThesis). Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC),. S.l.: 2021. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7870>.

**CHUNCHO, Guillermo.** "Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión". , 2019, vol. 9, pp. 71-83.,

**COLUNGA, Arturo Tena.** "INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA. REFLEXIONES SOBRE SU IMPORTANCIA EN LA RESPUESTA DINÁMICA DE ESTRUCTURAS DURANTE SISMOS". *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 2019, vol. 24, no 2, pp. 141-165., ISSN 2697-3669. DOI 10.24133/riie.v24i2.1282.

**DRINKWATER, Mark R. et al.** "The European Space Agency's Earth Explorer Mission CryoSat: measuring variability in the cryosphere". *Annals of Glaciology*, 2004, vol. 39, pp. 313-320., ISSN 0260-3055, 1727-5644. DOI 10.3189/172756404781814663.

**ESCANDÓN CALDERÓN, Jorge. et al.** "Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México". *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2018, vol. 9, no 46, pp. 27-53., ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v9i46.135.

**ESCOBAR FLORES, Rosa Elena. et al.** "Cambios en la cobertura y uso del suelo en la región del Soconusco, Chiapas". *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2021, vol. 12, no 66, pp. 46-69., ISSN 2007-1132. DOI 10.29298/rmcf.v12i66.755.

**FIGUEREDO FERNÁNDEZ, José Luis. et al.** "Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo «Los Números» Guisa, Granma". *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 2020, vol. 8, no 1, pp. 1-15., ISSN 2310-3469.

**GÓMEZ, Irving U. Hernández. et al.** "Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz". *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 2013, no 13\_1, pp. 1-24., ISSN 1578-5157.

**GÓNGORA ANDRADE, Cristian.**, ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE COBERTURAS VEGETALES Y URBANÍSTICAS EN LOS MUNICIPIOS DE SUAZA, ACEVEDO Y PITALITO, DEPARTAMENTO DEL HUILA, PERIODO 1970-2018. s.n. S.l.: 2022.

**HERNANDEZ-CLEMENTE, Rocio. & HORNERO, Alberto.** "Monitoreo y evaluación de la desertificación con teledetección:". *Ecosistemas*, 2021, vol. 30, no 3, pp. 2240-2240., ISSN 1697-2473. DOI 10.7818/ECOS.2240.

**HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, Alberto. et al.** "La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2019, vol. 40, no 1, [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 0258-5936. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0258-59362019000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362019000100015&lng=es&nrm=iso&tlng=pt).

**HERNÁNDEZ-PÉREZ, Ezequiel. et al.** "Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989 - 2015)". *Madera y bosques* [en línea], 2022, vol. 28, no 1, [Consulta: 12 enero 2023]. ISSN 1405-0471. DOI 10.21829/myb.2022.2812294. Disponible en:[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S140504712022000100106&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S140504712022000100106&lng=es&nrm=iso&tlng=es).

**HUANG, Jian. et al.** "Effects of lake-basin morphological and hydrological characteristics on the eutrophication of shallow lakes in eastern China". *Journal of Great Lakes Research*, 2014, vol. 40, no 3, pp. 666-674., ISSN 0380-1330. DOI 10.1016/j.jglr.2014.04.016.

**KUDNAR, Nanabhau S.** "GIS-based assessment of morphological and hydrological parameters of Wainganga River Basin, Central India". *Modeling Earth Systems and Environment*, 2020, vol. 6, no 3, pp. 1933-1950., ISSN 2363-6211. DOI 10.1007/s40808-020-00804-y.

**LEÓN, Jenner Barrera. et al.** "Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas". *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2020, vol. 3, no 1, pp. 182-190., ISSN 2631-2662.

**LOPEZ, Zaida Margot Sanchez. et al.** "Evaluación del cambio de uso de suelo en un humedal relicto de la costa peruana". *South Sustainability*, 2021, vol. 2, no 1, pp. e027-e027., ISSN 2708-7077. DOI 10.21142/SS-0201-2021-e027. Sustainability

**LÓPEZ-MONTECINOS, Cristián.**, Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental. S.l.: s.n. 2019.

**LOUSADA, Sérgio. & CASTANHO, Rui Alexandre.** "GIS-based assessment of morphological and hydrological parameters of Ribeira dos Socorridos and Ribeira do Vigário Basins, Madeira Island, Portugal". En: Accepted: 2021-10-21T14:51:37Z, *Current World Environment*, 2021, vol. 16, no 2, pp. 408-426., DOI 10.12944/CWE.16.2.08.

**LOZANO, Dante Leonardo Zumaeta.** "Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal". *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2021, vol. 2, no 3, pp. 81-89., ISSN 2414-8822. DOI 10.25127/ucni.v2i3.607.

**MAHALA, Avijit.** "The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings". *Applied Water Science*, 2019, vol. 10, no 1, pp. 33., ISSN 2190-5495. DOI 10.1007/s13201-019-1118-2.

**MENECES, Benito.,** ANALISIS MULTI-TEMPORAL DE COBERTURA VEGETAL UTILIZANDO IMAGENES SATELITALES LANDSAT EN LA CUENCA CHOCAYA DEL MUNICIPIO DE QUILLACOLLO [en línea]. (Thesis). FCAPYF-UMSS,. S.l.: 2021. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://ddigital.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/33608>.

**MIGUEL, Juan Antonio Cebrián de. & SIRCAR, Jayanta K.** "Creación de Modelos Topográficos Digitales (MTDs) a partir de curvas de nivel rasterizadas". *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, 1990, no 10, pp. 13-34., ISSN 0211-9803.

**MORA FORERO, Jorge Alexander. et al.,** Aviturismo comunitario en los páramos de Cundinamarca [en línea]. S.l.: Corporación Universitaria Minuto de Dios,. 2020. [Consulta: 12 enero 2023]. ISBN 978-958-763-414-3. Disponible en: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/11236>.

**OSPINA-GARCÍA, Miguel Ángel. et al.** "Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero". *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 2020, vol. 11, no 1, pp. 185-196., ISSN 2027-8306. DOI 10.19053/20278306.v11.n1.2020.11692.

**OSUNA-OSUNA, Ana Karen. et al.** "Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010". *Revista Ambiente & Agua*, 2015, vol. 10, pp. 350-362., ISSN 1980-993X. DOI 10.4136/ambi-agua.1539.

**PADMA, SrinivasaPerumal. et al.** "Simulation of Land Use/Land Cover Dynamics Using Google Earth Data and QGIS: A Case Study on Outer Ring Road, Southern India". *Sustainability*, 2022, vol. 14, no 24, pp. 16373., ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su142416373.

**PDOT CUSUBAMBA, CUSUBAMBA.,** 2020. *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL CUSUBAMBA 2015* [en línea]. 2020. S.l.: s.n. Disponible en: [https://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0560017430001\\_PD\\_GADparroquiaCusubamba\\_15-05-2015\\_19-27-09.pdf](https://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0560017430001_PD_GADparroquiaCusubamba_15-05-2015_19-27-09.pdf).

**PEÑA, J. et al.** "CalHypso : Un programa para extraer curvas hipsométricas y sus momentos estadísticos en ArcGIS . Ejemplo de aplicación en Sierra Nevada , SE de España". *Geotemas*, 2008, vol. 10, pp. 1227-1230.,

**REGOS, A. et al.** "Teledetección y SIGs como fuentes de información ambiental en el modelado de distribución de especies: el caso práctico del conejo europeo". , 2012,

**SACRISTÁN ROMERO, Francisco.** "La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental". *Civilizar*, 2005, vol. 5, no 9, pp. 1., ISSN 1657-8953. DOI 10.22518/16578953.701.

**SALGADO ROJAS, Natalia Alejandra. & TRIANA MARTIN, Iván Camilo.,** Efectos del proceso de urbanización sobre el espejo de agua y la cobertura vegetal del humedal Jaboque en los últimos 31 años: análisis multitemporal. [en línea]. (bachelorThesis). Universidad El Bosque., S.l.: 2019. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2604>.

**SANDOVAL-GARCÍA, Celestino. & SILVA, Israel Cantú.** "Análisis geomático del cambio de uso del suelo en la subcuenca río Copalita, Oaxaca". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2021, vol. 8, no Extra 2 (Número Especial II Sistemas pecuarios y agrícolas en México), pp. 29., ISSN 2007-901X.

**SANGURIMA TITO, Andrea Carolina. & CUASQUER ENRÍQUEZ, Fernanda Berenice.,** Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en la reserva ecológica El Ángel, periodo 1990-2017, Carchi-Ecuador [en línea]. (bachelorThesis). s.n. S.l.: 2019. [Consulta: 12 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9408>.

**SANTOS, Celso Augusto Guimarães. et al.** "Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido Paraibano". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2000, vol. 4, pp. 92-96., ISSN 1415-4366, 1807-1929. DOI 10.1590/S1415-43662000000100017.

**VERGARA-BUITRAGO, Paulina Alejandra.** "Estrategias implementadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colombia para conservar los páramos". *Revista de Ciencias Ambientales*, 2020, vol. 54, no 1, pp. 167-176., ISSN 2215-3896. DOI 10.15359/rca.54-1.9.

**VÍLCHEZ, José.** "Evaluación de la exactitud de modelos de elevación digital (MED) de malla regular generados a partir de curvas de nivel". *Revista geográfica venezolana*, 2000, vol. 41, no 2, pp. 239-256., ISSN 1012-1617, 2244-8853.



## ANEXOS

### ANEXO A: PUNTOS DE CONTROL NAGSICHE MEDIANTE SIG

USO	Coordenada X	Coordenada Y
TIERRA FORESTAL	740766,058	9881620
PARAMO	740766,058	9880620
PARAMO	740766,058	9879620
TIERRA FORESTAL	741766,058	9881620
TIERRA FORESTAL	741766,058	9881620
TIERRA FORESTAL	741766,058	9880620
PARAMO	741766,058	9879620
PARAMO	742766,058	9881620
PARAMO	742766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	742766,058	9879620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9881620
PARAMO	743766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9879620
PARAMO	744766,058	9881620
PARAMO	744766,058	9880620
PARAMO	744766,058	9879620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9880620
PARAMO	745766,058	9879620
PARAMO	746766,058	9881620
PARAMO	746766,058	9880620
PARAMO	746766,058	9879620
TIERRA FORESTAL	747766,058	9881620
PARAMO	747766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	747766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	748766,058	9881620
PARAMO	748766,058	9880620
PARAMO	748766,058	9879620
PARAMO	749766,058	9881620
PARAMO	749766,058	9880620
PARAMO	749766,058	9879620
PARAMO	750766,058	9881620
PARAMO	750766,058	9880620
PARAMO	750766,058	9880620
TIERRA FORESTAL	750766,058	9879620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9879620
PARAMO	752766,058	9881620
PARAMO	752766,058	9880620
PARAMO	752766,058	9879620

TIERRA AGROPECUARIA	753766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	753766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	753766,058	9880620
PARAMO	753766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	754766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	754766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	754766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	755766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	755766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	755766,058	9879620
VEGETACION HERBACEA	756766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	756766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	756766,058	9879620
TIERRA FORESTAL	740766,058	9883620
TIERRA FORESTAL	740766,058	9882620
PARAMO	740766,058	9878620
PARAMO	740766,058	9877620
PARAMO	741766,058	9885620
PARAMO	741766,058	9884620
PARAMO	741766,058	9883620
TIERRA FORESTAL	741766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	741766,058	9878620
TIERRA FORESTAL	742766,058	9885620
TIERRA FORESTAL	742766,058	9885620
PARAMO	742766,058	9884620
TIERRA FORESTAL	742766,058	9883620
TIERRA AGROPECUARIA	742766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	742766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	742766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	742766,058	9877620
TIERRA FORESTAL	743766,058	9885620
TIERRA FORESTAL	743766,058	9885620
PARAMO	743766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	743766,058	9877620
PARAMO	744766,058	9885620
PARAMO	744766,058	9884620
PARAMO	744766,058	9883620
PARAMO	744766,058	9883620
PARAMO	744766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	744766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	744766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	744766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9885620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9878620

VEGETACION HERBACEA	745766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9876620
PARAMO	745766,058	9875620
TIERRA FORESTAL	746766,058	9885620
PARAMO	746766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	746766,058	9884620
PARAMO	746766,058	9883620
PARAMO	746766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	746766,058	9882620
PARAMO	746766,058	9878620
PARAMO	746766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	746766,058	9876620
PARAMO	746766,058	9875620
PARAMO	747766,058	9885620
TIERRA AGROPECUARIA	747766,058	9884620
TIERRA AGROPECUARIA	747766,058	9884620
PARAMO	747766,058	9883620
PARAMO	747766,058	9883620
PARAMO	747766,058	9882620
PARAMO	747766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	747766,058	9878620
PARAMO	747766,058	9877620
PARAMO	747766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	747766,058	9876620
PARAMO	747766,058	9875620
PARAMO	747766,058	9875620
VEGETACION HERBACEA	748766,058	9885620
PARAMO	748766,058	9884620
PARAMO	748766,058	9883620
PARAMO	748766,058	9883620
PARAMO	748766,058	9882620
PARAMO	748766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	748766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	748766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	748766,058	9875620
PARAMO	749766,058	9885620
PARAMO	749766,058	9885620
PARAMO	749766,058	9884620
PARAMO	749766,058	9883620
PARAMO	749766,058	9882620
PARAMO	749766,058	9878620
PARAMO	749766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	749766,058	9876620
PARAMO	749766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	750766,058	9885620
VEGETACION HERBACEA	750766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	750766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	750766,058	9883620
TIERRA AGROPECUARIA	750766,058	9882620
PARAMO	750766,058	9878620
PARAMO	750766,058	9878620

PARAMO	750766,058	9877620
PARAMO	750766,058	9876620
PARAMO	750766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	751766,058	9885620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	751766,058	9883620
TIERRA AGROPECUARIA	751766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	751766,058	9882620
PARAMO	751766,058	9878620
PARAMO	751766,058	9877620
PARAMO	751766,058	9876620
PARAMO	751766,058	9876620
PARAMO	751766,058	9875620
PARAMO	751766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	752766,058	9885620
TIERRA AGROPECUARIA	752766,058	9884620
TIERRA AGROPECUARIA	752766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	752766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	752766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	752766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	752766,058	9878620
PARAMO	752766,058	9877620
PARAMO	752766,058	9877620
PARAMO	752766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	752766,058	9875620
VEGETACION HERBACEA	752766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	753766,058	9885620
TIERRA AGROPECUARIA	753766,058	9885620
TIERRA AGROPECUARIA	753766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	753766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	753766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	753766,058	9878620
PARAMO	753766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	753766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	753766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	754766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	754766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	754766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	754766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	754766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	754766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	754766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	755766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	755766,058	9878620
VEGETACION HERBACEA	755766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	755766,058	9877620
TIERRA AGROPECUARIA	755766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	755766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	756766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	756766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	756766,058	9877620

VEGETACION HERBACEA	756766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	756766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	757766,058	9883620
TIERRA AGROPECUARIA	757766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	757766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	757766,058	9880620
VEGETACION HERBACEA	757766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	757766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	757766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	757766,058	9877620
VEGETACION HERBACEA	757766,058	9876620
PARAMO	757766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9883620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9877620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9876620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9884620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9883620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9878620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9877620
TIERRA AGROPECUARIA	759766,058	9876620
VEGETACION HERBACEA	759766,058	9875620
TIERRA AGROPECUARIA	760766,058	9885620
TIERRA AGROPECUARIA	760766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	760766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	760766,058	9882620
VEGETACION HERBACEA	760766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	760766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	760766,058	9879620
TIERRA AGROPECUARIA	761766,058	9885620
TIERRA AGROPECUARIA	761766,058	9884620
VEGETACION HERBACEA	761766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	761766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	761766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	761766,058	9880620
TIERRA AGROPECUARIA	762766,058	9884620
TIERRA AGROPECUARIA	762766,058	9883620
VEGETACION HERBACEA	762766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	762766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	763766,058	9882620

TIERRA AGROPECUARIA	763766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	764766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	764766,058	9881620
TIERRA AGROPECUARIA	764766,058	9881620
PARAMO	741766,058	9886620
TIERRA FORESTAL	742766,058	9886620
PARAMO	743766,058	9886620
PARAMO	743766,058	9886620
PARAMO	744766,058	9886620
VEGETACION HERBACEA	745766,058	9886620
PARAMO	746766,058	9886620
PARAMO	747766,058	9887620
PARAMO	747766,058	9886620
PARAMO	747766,058	9886620
PARAMO	748766,058	9887620
PARAMO	748766,058	9886620
TIERRA AGROPECUARIA	749766,058	9887620
PARAMO	749766,058	9886620
PARAMO	749766,058	9886620
TIERRA AGROPECUARIA	750766,058	9887620
VEGETACION HERBACEA	750766,058	9886620
VEGETACION HERBACEA	750766,058	9886620
TIERRA AGROPECUARIA	751766,058	9887620
TIERRA AGROPECUARIA	751766,058	9886620
TIERRA AGROPECUARIA	751766,058	9886620
TIERRA AGROPECUARIA	752766,058	9886620
VEGETACION HERBACEA	765766,058	9882620
TIERRA AGROPECUARIA	765766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	765766,058	9881620
VEGETACION HERBACEA	746766,058	9874620
VEGETACION HERBACEA	746766,058	9874620
VEGETACION HERBACEA	746766,058	9873620
VEGETACION HERBACEA	747766,058	9874620
VEGETACION HERBACEA	748766,058	9874620
VEGETACION HERBACEA	749766,058	9874620
PARAMO	751766,058	9874620
PARAMO	752766,058	9874620
PARAMO	752766,058	9873620
PARAMO	753766,058	9874620
PARAMO	753766,058	9873620
PARAMO	754766,058	9874620
PARAMO	754766,058	9873620
PARAMO	755766,058	9874620
PARAMO	755766,058	9873620
VEGETACION HERBACEA	756766,058	9874620
PARAMO	756766,058	9873620
VEGETACION HERBACEA	757766,058	9874620
PARAMO	757766,058	9873620
TIERRA AGROPECUARIA	758766,058	9874620
PARAMO	758766,058	9873620

Realizado por: Moposita Taipe, Jessica, 2023

## ANEXO B: REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

 <p>Lagumasa, W77G+JXF, Ecuador</p> <p>Latitude -1.097383196465671° Longitude -78.72489058412611°</p> <p>Local 01:52:12 p. m. Altitude 30 metros GMT 06:52:12 p. m. martes, 15.11.2022</p>	 <p>Vía sin nombre, Ecuador</p> <p>Latitude -1.1000350629910827° Longitude -78.71487194672227°</p> <p>Local 08:37:56 a. m. Altitude 30,01 metros GMT 01:37:56 p. m. viernes, 25.11.2022</p>
Puntos de Control Nagsiche 1	Ponto de Control Nagsiche 2



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 02 / 03 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Jessica Fernanda Moposita Taipe
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera en Biotecnología Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0611-DBRA-UPT-2023