



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA  
COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA  
ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI , DURANTE EL  
PERIODO 2016-2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Ambiental

**Autor:**  
Unda Tigasi Edison Patricio

**Tutor:**  
Rivera Moreno Marco Antonio

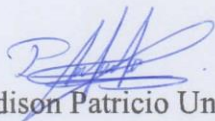
**LATACUNGA – ECUADOR Julio 2025**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Unda Tigasi Edison Patricio, con cédula de ciudadanía No. 0504848219, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL PERIODO 2016-2024”**, siendo el Ingeniero Mg. Rivera Moreno Marco Antonio Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 23 de julio del 2025



Edison Patricio Unda Tigasi

C.C: 0504848219

**ESTUDIANTE**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **UNDA TIGASI EDISON PATRICIO**, identificado con cédula de ciudadanía **0504848219** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL PERIODO 2016-2024”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Abril 2021 - Agosto 2021

Finalización de la carrera: Abril 2025 - Agosto 2025

Tutor: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL PERIODO 2016-2024”**

**CLÁUSULA SEGUNDA. - LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA. -** Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.



- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

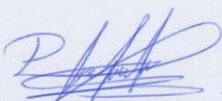
**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 23 días del mes de julio del 2025.

  
Edison Patricio Unda Tigasi  
**EL CEDENTE**

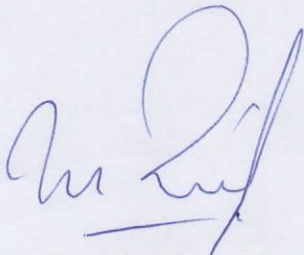
Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

**“EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL PERIODO 2016-2024”**, de Unda Tigasi Edison Patricio, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Predefensa.

Latacunga, 23 de julio del 2025



Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

C.C: 0501518955

**DOCENTE TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Unda Tigasi Edison Patricio, con el título del Proyecto de Investigación: "EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL PERIODO 2016-2024", ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de julio del 2025



Lic. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.  
C.C: 0501444582  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Vincent Benjamin Velastegui Tapia, Mg.

C.C: 0502547649

**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Eduardo Isaac Cajas Cayo, Mg.

C.C: 0502205164

**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mis más profundos agradecimientos a Dios por darme la fuerza y perseverancia necesaria durante este proceso, a mis padres por su apoyo constante, a mis docentes en especial al Ing. Marco Antonio Rivera, tutor de este proyecto por su guía, conocimientos y paciencia a lo largo del desarrollo de esta investigación, extendiendo mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a la Carrera de Ingeniería Ambiental, por proporcionarme las herramientas académicas necesarias para mi formación profesional.*

***Edison Patricio Unda Tigasi***

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo con todo mi corazón a mis padres María Pascuala Tigasi Pallo y Sergio German Unda Baño quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mis hermanos Melany Liseth Unda Tigasi y Jonathan Javier Vega Pallo por su apoyo incondicional y palabras de aliento cuando más los necesité. Y muy especialmente a mis familiares por estar siempre presentes y ser parte esencial de este logro.*

*Edison Patricio Unda Tigasi*

## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL EN LOS PÁRAMOS DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, PROVINCIA DE COTOPAXI, DURANTE EL PERIODO 2016-2024”**

**Autor:**

Unda Tigasi Edison Patricio

### **RESUMEN**

La investigación se llevó a cabo en los páramos de la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. Con el objetivo de realizar una evaluación multitemporal de los cambios de la cobertura vegetal en un periodo desde 2016 hasta 2024. Se empleó una metodología cualitativa basado en el análisis de imágenes satelitales Sentinel-2 procesadas en el software QGIS, utilizando técnicas de corrección atmosférica, selección de bandas espectrales y clasificación supervisada a través del complemento SemiAutomatic Classification Plugin (SCP). Para la clasificación de las categorías temáticas se realizó conforme al esquema CORINE Land Cover. El área total analizada corresponde a 269.821 Ha, en la cual se identificaron cinco clases principales de coberturas, herbácea, arbustiva, agropecuaria, suelo sin cobertura vegetal y zona antrópica. La evaluación espacial y temporal evidenció una transformación significativa en la estructura del paisaje, la cobertura herbácea experimento un incremento notable del 20.87% al 26.71%, mientras que la arbustiva presentó una disminución marcada del 29.92% al 21.14%, la cobertura agropecuaria se redujo del 1.11% a 0.67%. Por otro lado, el suelo sin cobertura vegetal aumentó del 46.46% al 50.46%, finalmente la zona antrópica mostró una expansión leve del 0.64% al 1.02%. El análisis mediante la matriz de transición evidenció que el 43.5% del territorio experimento cambios en su cobertura, mientras que el 56.5% se mantuvo sin alteraciones. La validez del análisis fue respaldada mediante la matriz de confusión y el índice Kappa, que alcanzó un valor mayor al 0.81%, confirmando una alta precisión en la clasificación realizada. En conclusión, los resultados evidencian una dinámica de transformación significativa en los páramos de la parroquia Angamarca, estos cambios comprometen gravemente los servicios ecosistémicos que presta el páramo particularmente, en la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad. La información generada resulta clave para la planificación territorial, el diseño de estrategias de restauración ecológica y la gestión sostenible de los recursos alto andinos.

**Palabras clave:** biodiversidad, degradación, georreferenciación, monitoreo, resolución espacial, vulnerabilidad.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “MUTITEMPORAL EVALUATION OF VEGETATION COVER  
CHANGE IN THE MOORLANDS OF ANGAMARCA PARISH, COTOPAXI  
PROVINCE, DURING THE PERIOD 2016-2024”**

**Author:**  
Unda Tigasi Edison Patricio

## ABSTRACT

The research was carried out in the moorlands of Angamarca parish, Pujilí canton, Cotopaxi province. The main objective was to carry out a multitemporal evaluation of changes in vegetation cover over a period of eight years from 2016 to 2024. A qualitative methodology was employed based on the analysis of Sentinel-2 satellite images processed in QGIS software, using atmospheric correction techniques, spectral band selection and supervised classification through the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). Thematic categories were classified according to the CORINE Land Cover scheme. The total area analyzed corresponds to 269821 Ha, in which five main land cover classes were identified: herbaceous, shrub, agricultural, soil without vegetation cover and anthropic zone. The spatial and temporal evaluation showed a significant transformation in the landscape structure; herbaceous cover experienced a notable increase from 20.87% to 26.71%, while shrub cover showed a marked decrease from 29.92% to 21.14%, and agricultural cover decreased from 1.11% to 0.67%. On the other hand, land without vegetation cover increased from 46.46% to 50.46%, and finally, the anthropic zone showed a slight expansion from 0.64% to 1.02%. The analysis using the transition matrix showed that 43.5% of the territory experienced changes in its cover, while 56.5% remained unchanged. The validity of the analysis was supported by the confusion matrix and the Kappa index, which reached a value greater than 0.81%, confirming a high precision in the classification performed. In conclusion, the results show a significant transformation dynamic in the moorlands of the Angamarca parish; these changes seriously compromise the ecosystem services provided by the moorlands, particularly in water regulation, carbon storage and biodiversity conservation. The information generated is key for territorial planning, the design of ecological restoration strategies and the sustainable management of high Andean resources.

**Keywords:** biodiversity, degradation, georeferencing, monitoring, spatial resolution, trends, vulnerability.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUDIROTRÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x

ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
3. JUSTIFICACIÓN .....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	5
6. OBJETIVOS DE PROYECTO .....	6
6.1.    Objetivo General.....	6
6.2.    Objetivos .....	6
	Específicos
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA .....	8
8.1.    Ecosistema .....	8
8.2.    El            páramo            como            ecosistema .....	8
8.3.    Captura            de            carbono .....	9
8.4.    Biodiversidad .....	9
8.5.    Servicios ecosistémicos .....	10
8.6.    Cobertura vegetal .....	10
8.7.    Cambios            de            la            cobertura            vegetal .....	11

8.8.	Vulnerabilidad ambiental .....	11
8.9.	Vegetación herbácea .....	12
8.10.	Vegetación arbustiva .....	12
8.11.	Tierra agropecuaria .....	12
8.12.	Suelo sin cobertura vegetal .....	13
8.13.	Zona antrópica .....	13
8.14.	Sistemas de información geográfica .....	13
8.15.	Funciones de un SIG .....	13
8.16.	Importancia del SIG.....	14
8.17.	QGIS .....	14
8.18.	Copernicus .....	14
8.19.	Teledetección .....	15
8.20.	Espectro electromagnético .....	15
8.21.	Sensores remotos .....	16
8.22.	Sensores activos .....	16
8.23.	Sensores pasivos .....	17
8.24.	Aplicaciones de los sensores remotos .....	17
8.25.	Imágenes satelitales Sentinel-2 .....	17
8.26.	Procesamiento de imágenes satelitales .....	18
8.27.	Preprocesamiento.....	18
8.28.	Corrección atmosférica .....	18
8.29.	Interpretación de imágenes satelitales .....	19

8.30.	Plugin de Clasificación Semiautomática (SCP) .....	19
8.31.	Clasificación supervisada .....	19
8.32.	Beneficios de la clasificación supervisada .....	20
8.33.	Matriz de confusión .....	20
8.34.	Matriz de transición .....	20
8.35.	Tasa de cambio .....	21
8.36.	Evaluación multitemporal .....	21
9.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	21
10.	ÁREA DE ESTUDIO .....	21
10.1.	Clima .....	23
10.2.	Flora .....	23
10.3.	Fauna .....	25
11.	METODOLOGÍA .....	26
11.1.	Tipo de investigación .....	26
11.1.1.	Investigación descriptiva .....	26
11.1.2.	Investigación cartográfica.....	27
11.1.3.	Investigación bibliográfica .....	27
11.2.	Métodos .....	28
11.2.1.	Método Cualitativo .....	28
11.2.2.	Método Inductivo .....	28
11.2.3.	Método Deductivo .....	28

11.2.4.	Metodología CORINE Land Cover .....	29
11.3.	Técnicas .....	30
11.3.1.	Recopilación de datos .....	30
11.3.2.	Clasificación de la cobertura vegetal Nivel I.....	33
11.3.3.	Reprocesamiento de datos .....	34
11.3.4.	Procesamiento de datos .....	34
11.3.5.	Clasificación supervisada .....	34
11.3.6.	Evaluación de exactitud temática .....	35
11.3.7.	Índice kappa .....	36
11.3.8.	Matriz de transición .....	37
11.3.9.	Cálculo de cambio de la cobertura vegetal .....	38
11.3.10.	Elaboración de mapas .....	39
11.4.	Población y muestra .....	40
11.5.	Instrumentos y materiales .....	40
12.	COMPROBACIÓN A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	41
13.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	42
13.1.	Procesamiento de imágenes satelitales Sentinel-2 correspondiente a los años 2016 y 2024 .....	42
13.1.1.	Selección de bandas .....	42

13.1.2.	Corrección atmosférica .....	42
13.1.3.	Combinación de bandas .....	43
13.1.4.	Corte de los datos de entrada para el procesamiento de las imágenes ....	44
13.2.	Clasificación de la cobertura vegetal de la parroquia Angamarca con base en la leyenda MAATE. ....	45
13.2.1.	Clasificación de la cobertura vegetal 2016 .....	45
13.2.2.	Clasificación de la cobertura vegetal 2024 .....	49
13.2.3.	Comparación de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024. ....	52
13.3.	Determinación de los cambios en la distribución y dinámica de las coberturas vegetales	54
13.3.1.	Evaluación del cambio de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024	54
13.3.2.	Porcentaje y su dinámica de cambio de la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca .....	57
14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	64
14.1.	Conclusiones .....	64
14.2.	Recomendaciones .....	65
15.	BIBLIOGRAFÍA .....	66
16.	ANEXOS .....	75
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>		
<b>Tabla 1.</b>	Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.....	4

<b>Tabla 2.</b> Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.....	7
<b>Tabla 3.</b> Bandas de los satélites Sentinel-2.....	17
<b>Tabla 4.</b> Especies identificadas y registradas de la flora de la parroquia Angamarca. .....	23
<b>Tabla 5.</b> Especies identificadas y registradas de la fauna de la parroquia Angamarca. .....	24
<b>Tabla 6.</b> Cobertura y uso de la tierra establecido por el Ministerio de Agricultura ...	34
<b>Tabla 7.</b> Matriz de confusión para verificar la exactitud de la clasificación de la cobertura vegetal .....	35
<b>Tabla 8.</b> Concordancia del índice kappa.....	37
<b>Tabla 9.</b> Matriz de transición para determinar la cobertura vegetal .....	37
<b>Tabla 10.</b> Matriz de cambio 2016-2024 de la cobertura vegetal .....	39
<b>Tabla 11.</b> Instrumentos y materiales utilizados en el proyecto de investigación.....	41
<b>Tabla 12.</b> Matriz de confusión de la clasificación de la cobertura vegetal año 2016..	47
<b>Tabla 13.</b> Área en hectáreas (Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal para el año 2016 .....	49
<b>Tabla 14.</b> Matriz de confusión de la clasificación de la cobertura vegetal año 2024.	51
<b>Tabla 15.</b> Área en hectáreas (Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal para el año 2024 .....	52
<b>Tabla 16.</b> Matriz de transición de los cambios de la cobertura vegetal 2016 - 2024..	56
<b>Tabla 17.</b> Áreas de cambio y conservación de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024 .....	58
<b>Tabla 18.</b> Cambios de las coberturas vegetales generados entre los años 2016 y 2024. .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Espectro visible para el ojo humano. ....	16
<b>Figura 2.</b> Mapa de Ubicación Geográfica del Área de Estudio “ Parroquia Angamarca”. .....	23
<b>Figura 3.</b> Esquema metodológico CORINE Land Cover para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal .....	30
<b>Figura 4.</b> Descarga de capas en formato Shape File. ....	31
<b>Figura 5.</b> Descarga de imágenes satelitales del programa Copernicus de los años 2016 y 2024. ....	32

<b>Figura 6.</b> Imagen satelital descargada del año 2016. ....	33
<b>Figura 7.</b> Imagen satelital descargada del año 2024. ....	33
<b>Figura 8.</b> Corrección atmosférica de las imágenes satelitales Sentinel-2 en QGIS.....	35
<b>Figura 9.</b> Combinación de bandas con la herramienta "Semi-Automatic Classification Plugin". ....	41
<b>Figura 10.</b> Capa resultante de la combinación de bandas. ....	44
<b>Figura 11.</b> Selección de muestras para la clasificación supervisada. ....	35
<b>Figura 12.</b> Diseño gráfico requisitos mínimos de información marginal para cartografía temática. ....	40
<b>Figura 13.</b> Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2016. ....	47
<b>Figura 14.</b> Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2024 .....	50
<b>Figura 15.</b> Mapas de las alteraciones en la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024. ....	54
<b>Figura 16.</b> Mapa de cambio de la cobertura vegetal 2016 - 2024. ....	55
<b>Figura 17.</b> Mapa de cambio y conservación de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024. ....	58
<b>Figura 18.</b> Cambio de la cobertura vegetal ganancias y pérdidas. ....	61

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:**

“Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca, provincia de Cotopaxi, durante el periodo 2016-2024”

**Fecha de inicio:** 7 de abril del 2025.

**Fecha de finalización:** 1 de julio del 2025.

**Lugar de ejecución:** Páramos de Angamarca, parroquia Angamarca, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:** Ingeniería Ambiental

**Equipo de investigadores:**

Tutor de titulación: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Nombre del investigador: Edison Patricio Unda Tigasi

Lector 1. Lic. Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.

Lector 2. Ing. Vicent Benjamin Velastegui Tapia, Mg.

Lector 3. Ing. Eduardo Isaac Cajas Cayo, Mg.

**Área de conocimiento:** Ciencias Naturales y ambiente.

**Línea de investigación:** Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

**Línea de vinculación:** Gestión de recursos naturales, biodiversidad e impactos ambientales.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los páramos ecuatorianos son un ecosistema de alta montaña los cuales cumplen funciones vitales como la regulación hídrica, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad, su ubicación está por encima de los 3.000 m.s.n.m. cubriendo un 7% del territorio en total estas albergan una gran diversidad de especies, su capacidad para almacenar y regular el agua los convierte en fuentes fundamentales para el abastecimiento hídrico de amplias zonas del país (Chuncho, 2019).

A pesar de su importancia ambiental estos ecosistemas enfrentan amenazas significativas debido a las presiones que se derivan de las actividades humanas, como la expansión de la frontera agrícola, ganadería no controlada, la quema e incendios de la cobertura nativa, estas transformaciones generan una pérdida de la vegetación natural la alteración del suelo y la disminución en la capacidad, de los páramos para cumplir sus funciones ecológicas.

Estudios realizados en otras regiones del Ecuador, como en la Reserva de Producción de Fauna del Chimborazo, han evidenciado que estos procesos de cambio provocan una reducción significativa de la vegetación nativa, generando su reemplazo por pastizales o cultivos (Zambrano, 2018). Este tipo de alteraciones no solo afecta la biodiversidad, sino que también interfiere en el ciclo hidrológico, incrementa los riegos de sequías o inundaciones aumentando la vulnerabilidad de las comunidades rurales.

En este contexto la parroquia Angamarca, se encuentra ubicada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, es una de las zonas donde los cambios en la cobertura vegetal han sido más notorios en los últimos años. Esta región se caracteriza por la presencia de amplias extensiones de páramo, las cuales han experimentado procesos de transformación asociados al aumento de las actividades productivas que afectan la disponibilidad de los recursos y la estabilidad ecológica local.

El periodo de estudio comprendido entre los años 2016 – 2024 ha sido particularmente relevante para el análisis de estos tipos de cambio ya que durante, estos años han coincidido con factores clave como la intensificación de las actividades agropecuarias, el crecimiento poblacional rural, la implementación de políticas de desarrollo local y las consecuencias de los efectos del cambio climático, estas condiciones han acelerado los procesos de degradación de los ecosistemas del páramo, generando impactos visibles en la cobertura vegetal y en los servicios ecosistémicos que este provee.

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la dinámica de los cambios en la cobertura vegetal en los páramos de la parroquia Angamarca durante el periodo 2016 – 2024. A partir de este análisis, se busca identificar las áreas con mayor pérdida o ganancia de vegetación y determinar las principales causas de estas modificaciones, los resultados permitieron generar información técnica actualizada que contribuyan al diseño de estrategias de conservación, restauración y gestión sostenible del territorio, promoviendo la protección de este ecosistema estratégico y fortaleciendo la resiliencia de las comunidades locales frente al cambio ambiental.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La parroquia Angamarca, ubicada en la provincia de Cotopaxi, alberga un ecosistema de páramo que cumple funciones ecológicas fundamentales, como la regulación hidrológica, la captura de carbono, la provisión de hábitats y la mitigación así el cambio climático. Sin embargo, durante los últimos años se han evidenciado cambios notables en la cobertura vegetal reflejando un proceso de deterioro progresivo de estos tipos de ecosistemas, este fenómeno está asociado principalmente a la expansión de la frontera agrícola, la ganadería intensiva y los incendios forestales. Frente a este contexto, surge la necesidad de investigar y comprender la dinámica de transformación que ha experimentado este territorio en los últimos años, con el fin de generar información útil para la gestión ambiental local.

La pérdida o alteración de la cobertura vegetal en los páramos produce impactos directos sobre el equilibrio ecológico, la disminución de la vegetación nativa incrementa la erosión del suelo, provocando la pérdida de la biodiversidad, afectando el ciclo hidrológico y elevando la vulnerabilidad ambiental frente a fenómenos climáticos extremos, si estos procesos no se monitorean de manera oportuna los efectos podrían ser irreversibles afectando tanto los ecosistemas, como la calidad de vida de las comunidades locales que depende de los servicios ecosistémicos que ofrece el páramo.

El análisis se centra en un periodo de estudio del 2016 al 2024 resultando particularmente relevante ya que en este lapso de tiempo se han intensificado las actividades antrópicas y se han registrados variaciones climáticas que han acelerado la transformación del paisaje. A diferencia de otras regiones del Ecuador en la parroquia Angamarca, no existen antecedentes de estudios técnicos que hayan aplicado un análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales y Sistemas de información

Geográfica (SIG). Por lo tanto, este trabajo representa la primera evaluación multitemporal desarrollada en este territorio.

Lo cual lo convierte en un aporte novedoso y valioso para comprender de una mejor manera la dinámica de cambio de los ecosistemas en el páramo, la información generada será de gran importancia para el gobierno autónomo descentralizado de la parroquia, debido a que permitirá sustentar estrategias de conservación, ordenamiento territorial y una gestión sostenible del paisaje.

La aplicación de herramientas SIG, mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y el uso del software QGIS, permite obtener datos espaciales precisos sobre la cobertura vegetal, facilitando el monitoreo de las zonas de difícil acceso como lo es los páramos. Esta metodología no solo es adecuada sino imprescindible para comprender cómo ha variado la cobertura vegetal en este territorio, permitiendo delimitar las áreas más afectadas, y evaluar la respuesta del ecosistema frente a las presiones antrópicas y climáticas.

Finalmente, este trabajo busca visibilizar cómo la interacción entre las actividades humanas y los ecosistemas frágiles del páramo puede generar procesos de transformación ambiental que muchas veces no son perceptibles a simple vista, la información generada no solo permitirá comprender estas dinámicas sino también servirá como insumo estratégico para apoyar la gestión sostenible del territorio.

#### **4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

La cuantificación de la población beneficiaria del proyecto se fundamentó basándose en los datos demográficos presentados en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pujilí 2021 – 2026, el estudio establece una focalización precisa diferenciado entre los beneficiarios directos los cuales, constituyen el núcleo de intervención del proyecto y los beneficiarios indirectos que abarcan a toda la población del catón.

**Tabla 1**

*Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.*

<b>BENEFICIARIOS DIRECTOS</b>	<b>BENEFICIARIOS INDIRECTOS</b>
Habitantes de la Parroquia Angamarca	Habitantes del Cantón Pujilí
Hombres: 2.311	Hombres: 32.736
Mujeres: 2.586	Mujeres: 36.319

---

Total, de beneficiarios directos: 4.897

Total, de beneficiarios indirectos: 69.055

---

*Nota:* Datos tomados del PDOT del cantón Pujilí. Fuente: (PDOT cantón Pujilí 2021-2026).

## **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

En las últimas décadas el Ecuador ha experimentado una transformación significativa en el uso y en la cobertura de su suelo, motivada por una creciente presión antrópica, la expansión descontrolada de la frontera agrícola y un acelerado proceso de urbanización no planificada. Esta dinámica se observa a escala nacional lo que ha generado una ocupación desequilibrada del territorio donde tierras de alto valor agrícola han sido urbanizadas o degradadas, empujando las actividades agropecuarias hacia ecosistemas frágiles, como los páramos, los cuales presentan una menor fertilidad y alta sensibilidad ecológica. Como resultado se observa una degradación progresiva de las funciones ambientales comprometiendo la sostenibilidad de los recursos naturales a largo plazo (Pabón, 2022).

En este escenario el ecosistema del páramo se destaca como uno de los más estratégicos y vulnerables de la región andina, su papel en la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la provisión de los servicios ecosistémicos fundamentales para la vida humana y la biodiversidad. Según Calderón (2019), la intervención antrópica constante sin una adecuada planificación ambiental, provoca un deterioro sistemático de los recursos naturales afectando el equilibrio ecológico y generando impactos que trascienden las fronteras locales comprometiendo la seguridad hídrica de millones de personas.

A ello se suma una evidente debilidad institucional en los niveles intermedios expresada en la escasa capacidad de gestión territorial, la limitada implementación de políticas de conservación efectivas y la ausencia de mecanismos técnicos para el monitoreo continuo del cambio de la cobertura vegetal. Este vacío de información especialmente de carácter multitemporal limita la posibilidad de tomar decisiones informadas y oportunas, tanto en los ámbitos locales como cantonales.

La falta de estrategias efectivas de conservación, restauración y el monitoreo territorial continua es una de las consecuencias directas de este déficit de información, esta situación ha limitado gravemente la capacidad de respuesta tanto de las instituciones como de las comunidades locales frente al deterioro ambiental creciente. Como señala Pino (2017), esta vulnerabilidad no solo amenaza la resiliencia ecológica sino también, los medios de vida rurales que dependen del uso racional del suelo y de la preservación de los servicios ecosistémicos.

Esta problemática se centra en territorios concretos como en la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, donde se ha identificado una transformación acelerada de la cobertura vegetal nativa, la expansión de la frontera agrícola, el avance de la ganadería extensiva y la ocurrencia frecuente de incendios forestales han provocado alteraciones significativas en la estructura del paisaje, afectando directamente la biodiversidad reduciendo la capacidad del ecosistema para cumplir sus funciones ecológicas. Según Chunco (2019), los páramos son esenciales para garantizar la estabilidad hídrica en la región andina y su degradación compromete de manera directa la sostenibilidad ambiental del territorio que dependen de ellos.

Aunque el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Pujilí 2021-2026 reconoce la presión antrópica sobre los recursos naturales de la zona, lo hace desde un enfoque cualitativo y carece de datos específicos que cuantifiquen la tasa de transformación territorial de la parroquia Angamarca. En contraste, estudios desarrollados en parroquias cercanas como la de Pilaló, han revelado tasas alarmantes de pérdida de bosque nativo estimadas entre 4,65 y 5,50 Ha anuales (Herrera, 2022). Estos antecedentes permiten inferir una tendencia regional similar subrayando un alarmante vacío de conocimiento técnico lo que impide la formulación de acciones eficaces.

En este contexto, la convergencia entre la fragilidad ecológica del páramo, la presión antrópica creciente y la falta de información geoespacial actualizada plantea una problemática urgente y científicamente relevante. Ante esto, surge la necesidad de responder a la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo ha cambiado la cobertura vegetal en los páramos de la parroquia Angamarca durante el periodo 2016 – 2024 y cuáles son sus principales implicaciones ambientales?

## **6. OBJETIVOS DE PROYECTO**

### **6.1. Objetivo General**

Evaluar el cambio multitemporal de la cobertura vegetal en los páramos de la parroquia Angamarca, cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi, mediante el uso de imágenes satelitales y técnicas de análisis espacial, durante el periodo 2016 – 2024.

### **6.2. Objetivos Específicos**

- Procesar las imágenes satelitales Sentinel-2 correspondiente de los años 2016 y 2024 mediante corrección atmosférica y combinación de bandas espectrales.

- Clasificar la cobertura vegetal de la parroquia Angamarca utilizando técnicas de clasificación supervisada en el software QGIS, con base en la leyenda del MAATE.
- Determinar los cambios en la distribución y dinámica de las coberturas vegetales mediante la matriz de transición y el cálculo de tasa de cambio.

## 7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2** *Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.*

<b>OBJETIVO ESPECÍFICO</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
Procesar las imágenes satelitales Sentinel-2 de los años 2016 y 2024 mediante corrección atmosférica y combinación de bandas espectrales.	QGIS + Plugin SCP. Preprocesamiento radiométrico corrección atmosférica.	1. Descarga de imágenes satelitales Sentinel-2 de los años 2016 y 2024. 2. Recorte espacial del área de estudio. 3. Correcciones atmosféricas y radiométricas. 4. combinación de bandas espectrales.	Imágenes preprocesadas, corregidas y listas para el análisis multitemporal.
Clasificar la cobertura vegetal de la parroquia Angamarca utilizando técnicas de clasificación supervisada en el software QGIS, con base en la leyenda nacional MAATE.	QGIS. Clasificación supervisada. Aplicación de la leyenda MAATE nivel I.	1. Selección de muestras de entrenamiento. 2. Clasificación supervisada mediante el complemento SCP. 3. Generación de mapas temáticos con leyenda oficial. 4. Validación de la clasificación mediante la matriz de confusión e índice kappa.	Mapas temáticos clasificados a los años 2016 y 2024. Matriz de confusión e índice kappa mayor al 0.80 para validar la precisión.
Determinar los cambios en la distribución y dinámica de las coberturas vegetales mediante la matriz de transición y el cálculo de tasa de cambio.	Evaluación multitemporal. Análisis espacial. Matriz de cambio.	1. Elaboración de matriz de transición entre coberturas. 2. Cálculo de tasas de cambio porcentual. 3. Elaboración del análisis de patrones espaciales de cambio.	Matriz de transición cuantificada. Tasas de cambio de cada clase de cobertura. Informe técnico del cambio de uso y cobertura del suelo.

---

4. Sistematización  
de resultados para  
informe técnico.

---

## **8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA Y TÉCNICA**

### **8.1. Ecosistema**

Un ecosistema es un sistema ecológico conformado por comunidades de organismos que interactúan entre sí y con los componentes abióticos del entorno, como el agua, el suelo y el aire. Estas interacciones biológicas se manifiestan a través de procesos como la depredación, el parasitismo, la competencia y la simbiosis, los cuales son esenciales para mantener el equilibrio ecológico (FAO, 2022).

Dentro de ciclo natural, los organismos cumplen un rol fundamental, al morir y descomponerse su materia orgánica se reincorpora al ambiente, nutriendo a las bacterias como hongos, plantas y animales. Estas interacciones continuas entre los seres vivos y su entorno físico aseguran la estabilidad y funcionalidad del ecosistema a largo plazo (FAO, 2022).

Los ecosistemas naturales se caracterizan por no haber sido alterados significativamente por intervenciones humanas, están conformados por especies que han evolucionado en condiciones particulares de un entorno determinado, entre estos ecosistemas de destacan los bosques tropicales, los manglares, los páramos y los océanos.

En contraste, los ecosistemas artificiales son aquellas que han sido modificados por la acción humana con fines productivos como la agricultura o la ganadería, en estos sistemas suelen introducirse especies que no pertenecen originalmente al ecosistema. A través del tiempo estas actividades han transformado ecosistemas naturales en tierras de cultivo, plantaciones permanentes, granjas y otros sistemas productivos (MAE, 2018).

### **8.2. El páramo como ecosistema**

El páramo es un ecosistema de alta montaña situada en la región altoandina caracterizada por su clima frío y flora única, donde se integra con otros ecosistemas montañosos

dentro de una compleja y funcional estructura ecológica. Se distingue por su elevada capacidad de retención hídrica, actuando como una esponja natural debido a propiedades físicas de sus suelos orgánicos, los cuales pueden almacenar agua en cantidades superiores al 200% de su peso seco (FSC, 2024).

En los páramos ecuatorianos predomina la vegetación herbácea de carácter permanente con un claro dominio, de gramíneas como *Stipa ichu*, comúnmente conocida como paja, lo que ha dado origen al término "pajonal". Asimismo, existen formas de vida vegetal altamente especializadas como especies en formas de roseta y almohadilla, que evidencian adaptaciones morfofisiológicas a las condiciones extremas de altitud. Estas especies cumplen un rol esencial en la captación y almacenamiento del agua.

Entre estas se destaca el musgo del género *Sphagnum*, por su excepcional capacidad de absorción, ya que puede retener hasta 40 veces su peso seco en agua. Complementariamente se encuentra especies arbustivas y leñosas, así como remanentes de bosques nativos, lo cual refleja una notable diversidad estructural que fortalece la funcionalidad ecológica del ecosistema (Camacho, 2014).

### **8.3. Captura de carbono**

Los suelos del páramo cumplen una función clave como depósitos naturales de carbono, debido a sus capacidades para almacenar hasta tres veces más carbono orgánico que la biomasa vegetal superficial. Esta propiedad convierte a los páramos en factores clave contra la mitigación asía el cambio climático, al contribuir significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (Reyes, 2015).

### **8.4. Biodiversidad**

La biodiversidad comprende la variedad de especies plantas, animales, hongos y microorganismos que habitan en un área determinada, incluye también la variabilidad genética dentro de las poblaciones de una misma especie así, como la diversidad de ecosistemas, paisajes y regiones donde estos organismos interactúan y se desarrollan.

Esta diversidad incorpora procesos ecológicos que conectan a las especies con su entorno físico y entre sí, reflejando una interdependencia funcional entre ecosistemas y paisajes (Velásquez, 2014).

La diversidad de especies se clasifica en tres niveles:

- Diversidad alfa: corresponde al número de especies que habitan en un área geográfica pequeña y homogénea, como un páramo o lago. Este indicador representa la riqueza de especies dentro de un ecosistema particular.
- Diversidad beta: evalúa la variación en la composición de especies entre ecosistemas diferentes en condiciones ambientales distintas. Por ejemplo, comparar una zona montañosa con una costera refleja el grado de cambio o sustitución de especies entre hábitats.
- Diversidad gamma: representa la riqueza total de especies en una región amplia que abarque múltiples ecosistemas sin barreras significativas para la dispersión. Un ejemplo sería el número total de especies presentes en toda la cuenca amazónica.

### **8.5. Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos comprenden todas las contribuciones tanto directas como indirectas, que los ecosistemas brindan al bienestar humano estos beneficios se manifiestan a través de las funciones ecológicas que son reconocidas, aprovechadas y valoradas por las personas, al mejorar su calidad de vida.

Además, de que estos son esenciales para el desarrollo de sistemas agrícolas, alimentarios y de salud para garantizar una vida digna. Por ello, resulta prioritario conservar, proteger y restaurar la biodiversidad, así como rehabilitar ecosistemas degradados (MAE, 2018).

Existe una estrecha relación entre la biodiversidad la cual incluye su estructura, composición, funcionamiento y los sistemas sociales, esta conexión se expresa mediante procesos ecológicos que generan beneficios clave para el bienestar colectivo y el desarrollo cultural, en ámbitos sociales, económicos, políticos, tecnológicos y religiosos (MADS, 2021).

El eje central del desarrollo sostenible y de la conservación ambiental es mantener el equilibrio de los ecosistemas, evitando alteraciones significativas en el sistema terrestre que puedan generar estados ecológicos adversos (MAE, 2018).

### **8.6. Cobertura vegetal**

La cobertura vegetal comprende el conjunto de elementos naturales que recubren la superficie terrestre del suelo, como bosques, pastizales, arbustos y cultivos. Este componente desempeña un rol crucial en la estabilidad del ecosistema al contribuir a la regulación, del ciclo hidrológico y a la prevención de procesos de erosión y degradación (FAO, 2026).

Preservar esta cobertura es fundamental para la sostenibilidad ambiental, la incorporación de residuos de cosecha o el uso de cultivos que protegen el suelo mejora su estructura, promoviendo la biodiversidad y fortaleciendo la resiliencia de los agroecosistemas especialmente en zonas rurales (FAO, 2025).

Además, la cobertura vegetal actúa como barrera natural frente a eventos climáticos extremos, como lluvias intensas o sequías. Su presencia evita la compactación del suelo mejora la retención de la humedad y genera condiciones apropiadas para el desarrollo agrícola sostenible (Mármol, 2023).

### **8.7. Cambios de la cobertura vegetal**

Las modificaciones en la cobertura vegetal y el uso del suelo generan impactos relevantes en el funcionamiento de los ecosistemas, afectando procesos clave como el ciclo hidrológico, la estabilidad del suelo y su conservación. Estas alteraciones intensificadas por las actividades humanas, favorecen la erosión y el deslizamiento del terreno siendo la intervención antrópica un factor determinante en esta dinámica (Tarakanov, 2024).

Según Morales (2022), uno de los principales detonantes de estos cambios ha sido el crecimiento urbano no planificado, especialmente en zonas rurales que se transforman en áreas urbanizadas este fenómeno, se vincula a un incremento poblacional y a modelos de desarrollo poco sostenibles. A una escala global la vegetación ha sido modificada tanto por causas naturales como por acciones humanas, lo que ha reducido significativamente la capacidad de los ecosistemas para mantener sus funciones y servicios.

En el territorio ecuatoriano los principales factores de la degradación del suelo ha sido la tala indiscriminada de los árboles y el sobrepastoreo asociado a una alta carga ganadera, lo que disminuye la fertilidad y productividad del suelo.

Además, expertos advierten que la falta de estrategias adecuadas en la planificación y ordenamiento territorial ha favorecido la expansión urbana desorganizada, provocando la pérdida de suelos agrícolas de alto valor productivo. Esta situación ha reducido la disponibilidad de tierras fértiles, disminuyendo los niveles de producción y, en consecuencia, afectando la seguridad alimentaria de la población (FAO,2018).

### **8.8. Vulnerabilidad ambiental**

La vulnerabilidad ambiental se relaciona con la manera en que los seres humanos perciben y experimentan las consecuencias de la degradación ecológica en su calidad de vida,

refleja una visión del ambiente centrada en el ser humano en la que los impactos ambientales afectan directamente su bienestar. En este sentido, le corresponde al estado mediante políticas y legislaciones ambientales garantizar, la protección de las poblaciones que enfrentan desigualdades derivadas de las crisis ecológicas. En este sentido el término “vulnerabilidad” cobra relevancia solo cuando se vincula con los efectos sobre el bienestar humano (Corte, 2024).

En su sentido más estricto la vulnerabilidad ambiental es consecuencia de la presión excesiva sobre los ecosistemas y del uso insostenible de los recursos naturales este fenómeno, se sustenta en un modelo de desarrollo económico que prioriza la explotación sin considerar los límites ecológicos lo que conlleva a la degradación de los suelos. Por ello, es fundamental implementar estrategias que garanticen condiciones ecológicas mínimas para prevenir el colapso de los sistemas naturales y asegure el bienestar humano (Bezerra, 2024).

### **8.9. Vegetación herbácea**

La vegetación herbácea se caracteriza por carecer de un tallo leñoso lo cual les otorga una textura flexible y suave, este tipo de vegetación incluye especies de rápido crecimiento clasificándose en tres tipos de categorías según su ciclo de vida estas pueden ser anuales, bianuales y perennes. Su estructura no lignificada les permite adaptarse a diversas condiciones ecológicas cumpliendo un papel importante en la cobertura del suelo, la conservación de la humedad y el equilibrio ecológico de diversos ecosistemas (Luján, 2019).

### **8.10. Vegetación arbustiva**

La vegetación arbustiva está compuesta por plantas leñosas que presentan múltiples tallos que se ramifican desde la base, con un porte generalmente más bajo que el de los árboles su crecimiento es denso y compacto clasificándose en especies caducifolias o perennes. A diferencia de las plantas herbáceas los arbustos poseen tejidos leñosos lo que les proporciona mayor durabilidad y resistencia.

Estas características hacen que la vegetación arbustiva sea ideal para la conformación de bordes, setos y estructuras ornamentales, ofreciendo también una función ecológica relevante como refugio y hábitat para diversas especies (Acosta, 2021).

### **8.11. Tierra agropecuaria**

Se considera tierra agropecuaria a toda superficie de terreno utilizada total o parcialmente para actividades agrícolas, ganaderas o forestales sin importar su título de

propiedad extensión o ubicación geográfica. Esta definición contempla el uso que le otorga tanto el productor como los miembros de su familia.

Tradicionalmente la tierra agropecuaria se ha entendido como el entorno natural donde se desarrollan las plantas, desde una perspectiva edafológica también se reconoce como una entidad natural estructura en horizontes del suelo, compuesta por minerales y materia orgánica elementos fundamentales para la productividad y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios (FAO, 2025).

### **8.12. Suelo sin cobertura vegetal**

El suelo sin cobertura vegetal corresponde a superficies terrestres que carecen de flora o de alguna capa protectora de plantas, ya sea por la destrucción de la vegetación original o por el deterioro de las condiciones edáficas que impiden el crecimiento de la vegetación. Esta situación puede deberse a causas naturales o a la intervención humana como la deforestación, el sobrepastoreo o las prácticas agrícolas intensivas (Ávila, 2017).

### **8.13. Zona antrópica**

Las zonas antrópicas son áreas del territorio que han sido modificadas por las actividades humanas, principalmente asociadas a procesos de urbanización, industrialización y prácticas agrícolas. Estas transformaciones alteran las condiciones naturales del suelo afectando su estructura, composición y funcionalidad.

En general estos terrenos presentan mayores concentraciones de materiales orgánicos, residuos y contaminantes resultado de la acumulación de desechos y del uso intensivo del suelo, comprometiendo su calidad ambiental (Mejía, 2021).

### **8.14. Sistemas de información geográfica**

Los Sistemas de Información Geográfica también conocidos como (SIG) son plataformas informáticas diseñadas para la gestión, el análisis y visualización de datos espaciales, estas herramientas permiten almacenar, manipular y representar información georreferenciada constituyéndose en recursos clave tanto para la investigación científica como para la práctica profesional. Se consideran tecnologías fundamentales para facilitar el uso eficiente de los datos espaciales, contribuyendo a su análisis y a la toma de decisiones territoriales (Sarría, 2024).

### **8.15. Funciones de un SIG**

Los sistemas de Información Geográfica cumplen dos funciones fundamentales las cuales son la captura y el análisis de los datos espaciales, la función de la captura se refiere a la obtención y digitalización de información proveniente de diversas fuentes tales como, imágenes satelitales, fotografías aéreas y levantamientos topográficos.

Por otro lado, la función de análisis permite examinar tanto los datos espaciales como sus atributos asociados, con el fin de ejecutar operaciones específicas estas incluyen la identificación de elementos continuos o la detección de áreas superpuestas, facilitando así la toma de decisiones territoriales precisas (Carmona, 2024).

### **8.16. Importancia del SIG**

Los SIG están integrados por equipos tecnológicos, softwares especializados, base de datos geoespaciales y recursos humanos capacitados, configurando así un sistema estructurado orientado a recopilar, almacenar, procesar, modelar y visualizar información geográfica. Su principal propósito es ofrecer instrumentos efectivos para abordar problemáticas complejas relacionadas con la planificación, ordenamiento y gestión territorial (Olmos, 2018).

### **8.17. QGIS**

QGIS es una herramienta de Información Geográfica de código abierto y de libre distribución que permite, a los usuarios crear, editar, visualizar y publicar información geoespacial, su plataforma facilita la manipulación de datos espaciales de manera accesible y eficiente para diversos fines, tanto académicos como profesionales.

Este software opera bajo la Licencia Pública General (GPL), lo que significa que su código fuente es abierto y está disponible gratuitamente para cualquier persona en el mundo. Gracias a esta característica QGIS ha sido adoptado ampliamente por comunidades científicas, técnicas y gubernamentales para la gestión del territorio y el análisis espacial (Biscaia, 2024).

### **8.18. Copernicus**

Copernicus es una iniciativa conjunta de la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea orientada a la vigilancia del medio ambiente y al monitoreo de los cambios que ocurren en el planeta. El sistema proporciona información precisa y actualizada mediante el uso de tecnologías satelitales, ofreciendo además servicios informativos gratuitos en diversas áreas de interés (Ministerio de Transporte y Movilidad Sostenible, 2024).

Los servicios de Copernicus procesan datos provenientes de satélites y observaciones terrestres para transformarlos en información útil mediante un análisis avanzado, esta información puede combinarse con otras fuentes para la validación de los resultados permitiendo, así realizar estudios comparativos a lo largo del tiempo. Gracias a la disponibilidad de datos históricos las cuales abarcan años o incluso décadas se facilita el seguimiento de tendencias, la detección de cambios ambientales y la elaboración de pronósticos más precisos (MITECO, 2024).

### **8.19. Teledetección**

La teledetección se refiere al proceso de obtención de información sobre la superficie terrestre mediante sensores instalados en los satélites, estos sensores captan la interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, generando datos que posteriormente se procesan para obtener información útil sobre el planeta (Instituto Geográfico Nacional, 2024).

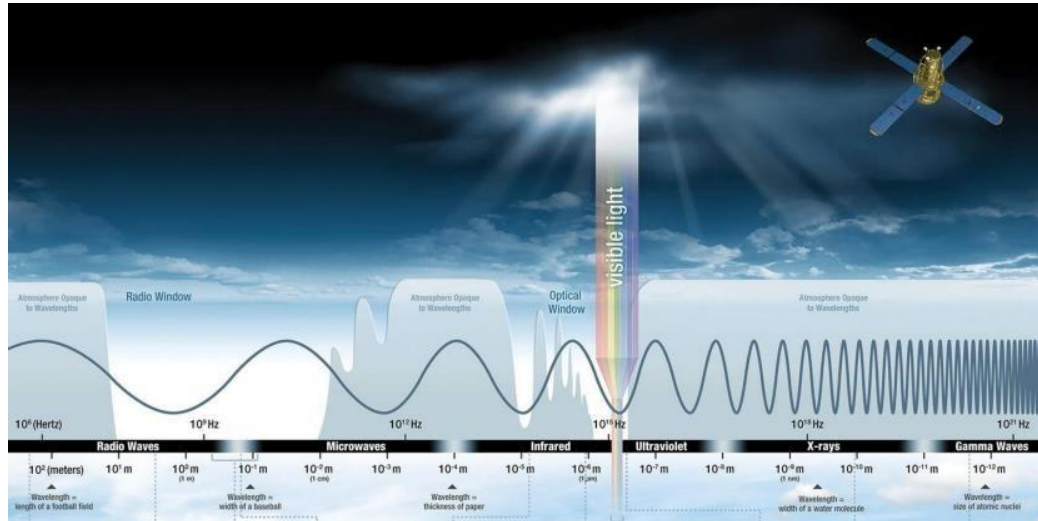
Este proceso implica la lectura de la radiación solar que incide en los objetos terrestres y es reflejada hacia el sensor, existen tres tipos principales de radiación detectada la radiación solar reflejada por los objetos, la radiación emitida por los propios objetos y la radiación generada por el sensor que es reflejada por los objetos. Los dos primeros tipos corresponden a la teledetección pasiva, mientras que el tercero se conoce como teledetección activa, mediante el análisis de esta radiación es posible identificar características tanto de los objetos como de los procesos que ocurren en la superficie terrestre, utilizando el espectro electromagnético (Román, 2025).

### **8.20. Espectro electromagnético**

El espectro electromagnético comprende todas las frecuencias de ondas incluidas las correspondientes a la radiación solar, aunque comúnmente se hace referencia a la luz visible la mayoría del espectro no es perceptible al ojo humano. Los sensores satelitales solo registran una parte específica de este espectro lo que permite, capturar información precisa sobre fenómenos superficiales (NASA, 2023).

#### **Figura 1**

*Espectro visible para el ojo humano.*



*Nota:* Interpretación de la reflectancia para la clasificación de las imágenes satelitales. Fuente: Nasa (2023).

### 8.21. Sensores remotos

Los sensores remotos son dispositivos capaces de obtener información sobre un objeto o superficie sin la necesidad de un contacto físico funcionan mediante la detección, almacenamiento y análisis de la energía que un objeto emite o refleja. Esta información se procesa para comprender mejor las propiedades del objeto generar nuevos datos o apoyar la toma de decisiones en diversos contextos (Enríquez, 2023).

La recolección de datos mediante sensores remotos se realiza a través de técnicas y métodos que emplean las plataformas como los satélites y aeronaves, su interpretación permite investigar, monitorear la superficie terrestre y sus transformaciones. Estos sistemas resultan fundamentales en múltiples aplicaciones, como la planificación urbana, la supervisión de construcciones, el monitoreo de vías, el análisis de la vegetación y bosques, la evaluación del estado de los cultivos, la valoración de la producción agrícola, así como en la elaboración de mapas temáticos (GEOACTIC, 2023).

### 8.22. Sensores activos

Un sensor activo es un dispositivo de detección que requiere una fuente de energía externa para poder operar, los sensores activos emiten una señal como pulsos de luz o electrones hacia la superficie terrestre. Esta señal al reflejarse en el objeto o área de interés es captada nuevamente por el sensor, permitiendo así la recolección de la información precisa sobre la superficie analizada (Ramadhi, 2021).

### 8.23. Sensores pasivos

Un sensor pasivo es un dispositivo diseñado para detectar y registrar la energía presente de forma natural en el entorno, sin emitir ninguna señal propia esta energía se origina mediante emisiones térmicas de la superficie terrestre o en la radiación solar, que es reflejada o reemitida por los objetos. Los sensores pasivos se utilizan comúnmente en teledetección para poder captar información en rangos visibles, infrarrojos y térmicos del espectro electromagnético (Ramadhi, 2021).

### 8.24. Aplicaciones de los sensores remotos

Tanto los sensores remotos activos como los pasivos constituyen herramientas altamente versátiles utilizadas, en una amplia gama de aplicaciones su implementación abarca sectores como la agricultura, la gestión y monitoreo ambiental, la planificación urbana, así como la investigación científica permitiendo un análisis detallado de la superficie terrestre y sus dinámicas (NASA, 2023).

### 8.25. Imágenes satelitales Sentinel-2

El principal objetivo de las imágenes satelitales obtenidas de Sentinel-2 es facilitar la observación y el análisis de los cambios en la superficie terrestre, esta cuenta con un escáner multiespectral capaz de capturar la información de longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo, lo que permite monitorear las alteraciones en el suelo y la vegetación. Esta capacidad es clave para evaluar fenómenos como la degradación ambiental y el cambio climático, con una resolución espectral de hasta 10 metros (Alonso, 2024).

De acuerdo con MITMA (2018), los datos provenientes de Sentinel-2 comprenden 13 bandas espectrales, cada una con funciones específicas para el análisis ambiental, como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3**

*Bandas de los satélites Sentinel-2.*

<b>Banda Sentinel-2</b>	<b>Longitud de onda central (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución espacial (m)</b>
Banda 1 – coastal aerosol	0.443	60
Banda 2 - azul	0.490	10
Banda 3 – verde	0.560	10
Banda 4 – rojo	0.665	10

Banda 5 – Vegetation Red Edge	0.705	20
Banda 6 – Vegetation Red Edge	0.740	20
Banda 7 – Vegetation Red Edge	0.783	20
Banda 8 – NIR	0.842	10
Banda 8A – Vegetation Red Edge	0.865	20
Banda 9 – Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 – SWIR – cirros	1.375	60
Banda 11 – SWIR	1.610	20
Banda 12 - SWIR	2.190	20

*Nota:* Datos de las imágenes satelitales utilizadas para la clasificación. Fuente: (MITMA, 2018).

## 8.26. Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes satelitales comprende un conjunto de técnicas orientadas a la manipulación, el análisis cualitativo y cuantitativo de imágenes satelitales obtenidas por los sensores remotos. Estas técnicas incluyen la corrección radiométrica y geométrica con el objetivo de generar información geoespacial relevante para la interpretación y el monitoreo de áreas específicas (Fonseca, 2025).

## 8.27. Preprocesamiento

El preprocesamiento consiste en aplicar técnicas que permiten recuperar la información real contenida en las imágenes satelitales corrigiendo, las distorsiones generadas por los factores radiométricos y atmosféricos. Este paso es fundamental para asegurar la consistencia, precisión y comparabilidad de los datos adquiridos por los satélites de esta manera, se mejora la calidad de la imagen y se posibilita una interpretación más confiable de las propiedades físicas de la superficie terrestre (Cara, 2018).

## 8.28. Corrección atmosférica

La corrección atmosférica es un proceso aplicado a imágenes satelitales con el objetivo de eliminar los efectos provocados por la atmósfera, tales como la presencia de aerosoles, vapor de agua y la dispersión de la radiación solar, estas interferencias afectan la radiación registrada en el sensor y pueden distorsionar la información espectral de la superficie terrestre.

Mediante la aplicación de algoritmos de corrección se logra atenuar estos efectos y mejorar la calidad radiométrica de las imágenes, aumentando su claridad visual y permitiendo una interpretación más precisa de las propiedades del terreno, este procedimiento es esencial para garantizar datos más fiables (Aguilar, 2024).

### **8.29. Interpretación de imágenes satelitales**

La interpretación visual permite identificar, delimitar, reconocer elementos y objetos presentes en la superficie terrestre, esta técnica no solo facilita el análisis morfológico de los objetos sino también, la evaluación de su importancia o impacto en un contexto espacial determinado.

A través de este proceso los analistas pueden extraer información valiosa a partir de las imágenes, evaluando características específicas como la forma, tamaño, textura color y patrón espacial. Esto permite, por ejemplo, monitorear el crecimiento urbano, estimar la productividad agrícola o detectar áreas afectadas por incendios forestales (CONAE, 025).

### **8.30. Plugin de Clasificación Semiautomática (SCP)**

El Plugin de Clasificación Semiautomática (SCP), es una herramienta de software integrada en QGIS esta permite realizar la clasificación supervisada de imágenes satelitales dentro del campo de la teledetección, SCP ofrece un conjunto completo de funciones para la adquisición, preparación y el análisis de datos geospaciales, facilitando el procesamiento de imágenes multiespectrales.

Entre sus principales funciones se encuentran la descarga directa de imágenes satelitales como las Landsat y Sentinel-2, el preprocesamiento automático y la aplicación de algoritmos de clasificación del uso del suelo (Congedo, 2024).

### **8.31. Clasificación supervisada**

La clasificación supervisada es un método utilizado en el análisis de imágenes ráster dentro de los Sistemas de Información Geográfica, consiste en asignar celdas temáticas a cada celda de una imagen basándose en muestras de entrenamiento previamente definidas por el usuario, estas muestras representan categorías conocidas como tipos de cobertura o uso del suelo.

El proceso se basa en la interferencia estadística donde un algoritmo compara las características espectrales de las celdas desconocidas con las celdas de referencia, clasificando así cada píxel según las clases previamente establecidas. El término supervisada hace referencia

a la intervención humana necesaria para delimitar estas áreas de entrenamiento mediante la interpretación visual de las imágenes satelitales (Bettinger, 2023).

### **8.32. Beneficios de la clasificación supervisada**

La clasificación supervisada en el ámbito de la teledetección ofrece múltiples beneficios, entre ellas se destaca la capacidad de definir y controlar de manera precisa las clases temáticas, la posibilidad de incorporar información de campo como insumo para el entrenamiento y la flexibilidad para aplicar distintos algoritmos de clasificación. Estas características permiten obtener resultados más precisos y adaptados a las particularidades del área de estudio, lo cual es especialmente valioso cuando se dispone de datos detallados (Sotelo, 2022).

### **8.33. Matriz de confusión**

La matriz de confusión también denominada matriz de errores, es una herramienta visual que muestra los resultados del clasificador que se basó en algoritmos, consiste en una tabla que comprara los valores reales de una categoría con las clasificaciones generadas por el modelo, permitiendo identificar los aciertos y errores en la asignación de las clases. Esta técnica es ampliamente utilizada para analizar la precisión de los modelos de clasificación (Murel, 2024).

Según Sánchez (2016), cuando la matriz de confusión se aplica conforme a la norma ISO 19157, permite evaluar la calidad de los datos cartográficos mediante la contabilización de las clasificaciones correctas e incorrectas dentro de cada clase definida.

Esta evaluación detallada permite identificar distintos tipos de errores, entre ellos:

- Errores de omisión (Riesgo del usuario): ocurre cuando los elementos que pertenecen a una categoría específica no son clasificados dentro de ella, lo que indica que el modelo no los ha reconocido adecuadamente. Estos errores se ubican generalmente en la parte inferior de la diagonal principal de la matriz.
- Errores de comisión (Riesgo del productor): se presenta cuando elementos que no pertenecen a una categoría determinada son clasificados incorrectamente como parte de ella. Estos errores suelen localizarse en la parte superior de la diagonal de la matriz.

### **8.34. Matriz de transición**

La matriz de transición es una herramienta estadística para calcular la probabilidad de cambio de estado de un objeto o individuo a lo largo de un período determinado, en términos

simples permite representar y analizar los desplazamientos entre distintos estados previamente definidos, registrando las probabilidades de pasar de un estado inicial a uno final.

Este tipo de matriz es útil para modelar procesos dinámicos como el cambio del uso de suelo, la movilidad poblacional o la evolución de las variables socioeconómicas, su aplicación permite estimar la probabilidad condicional de que un individuo o elemento se encuentre en un estado específico al final del período analizado, tomando como referencia su estado anterior (INEC, 2017).

### **8.35. Tasa de cambio**

La tasa de cambio se define como la medida de la variación proporcional que experimenta una variable en un intervalo de tiempo determinado, esta matriz permite cuantificar la rapidez con la que ocurren alteraciones, expresándose comúnmente como un porcentaje de variación entre dos períodos.

Su utilidad radica en la posibilidad de identificar y analizar tendencias de transformación facilitando el seguimiento de modelos dinámicos en distintos contextos, como el cambio del uso de suelo, la cobertura vegetal o el crecimiento urbano (Francois, 2003).

### **8.36. Evaluación multitemporal**

La evaluación multitemporal consiste en un análisis espacial que compara e interpreta coberturas territoriales observadas en diferentes momentos, mediante el uso de imágenes satelitales o mapas temáticos. Esta técnica permite detectar y cuantificar los cambios ocurridos en el período de estudio, brindando información relevante sobre transformaciones ambientales.

Al aplicar esta metodología a coberturas previamente clasificadas es posible identificar patrones de cambio, evaluar las dinámicas del uso del suelo y comprender mejor los efectos de las actividades humanas sobre el medio natural (Culqui, 2022).

## **9. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué cambios en la extensión y distribución de las coberturas vegetales se han producido en los páramos de la parroquia Angamarca entre 2016 y 2024, y cuál es su relación con los factores antrópicos observados en el territorio?

## **10. ÁREA DE ESTUDIO**

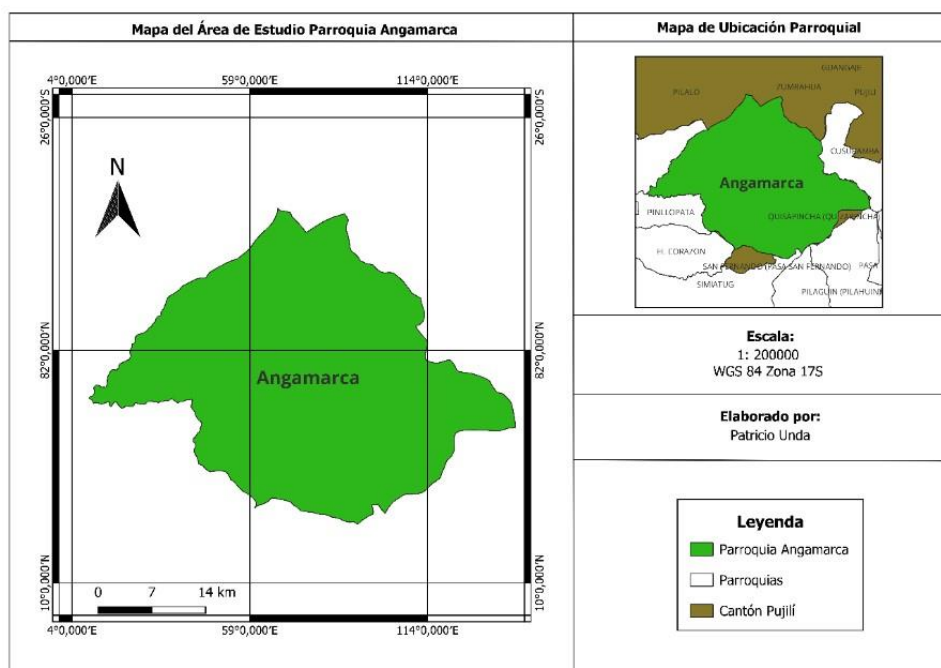
La parroquia Angamarca se encuentra localizada en el suroeste de la provincia de

Cotopaxi, aproximadamente a 110 kilómetros de la ciudad de Latacunga. Administrativamente pertenece al cantón Pujilí su extensión territorial es de aproximadamente 26.991 Ha y se halla a una altitud de 2.996 m.s.n.m. esta se encuentra delimitada por diversas parroquias en el norte colinda con Zumbahua y Pilaló, en la zona sur limita con Simiatug, que pertenece a la provincia de Bolívar, al este se encuentra las parroquias Cusubamba y Pasa San Fernando, ambas localizadas en la provincia de Tungurahua y al oeste con Pinllopata y El Corazón. De acuerdo con los datos del Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Cantón Pujilí (León, 2021). El presente análisis se trabajó con la totalidad del territorio parroquial sin realizar recortes espaciales lo que permitió una visión integral del estudio del área.

La elección de esta parroquia se responde a criterios técnicos y ambientales debido a que esta constituye un ecosistema estratégico con alta sensibilidad ecológica, factores como la presión antrópica, el cambio en el uso del suelo y la falta de estudios previos en la zona justifican su elección como área de interés para evaluar las dinámicas de la cobertura vegetal y sus aplicaciones territoriales.

Para el procesamiento geoespacial se utilizó el sistema de coordenadas geográficas WGS 84 zona UTM 17S, con el objetivo de garantizar la precisión y estandarización del análisis espacial.

**Figura 2** Mapa de Ubicación Geográfica del Área de Estudio "Parroquia Angamarca".



*Nota:* Mapa de ubicación geográfica del área de estudio. Elaborado por el Autor.

### 10.1. Clima

Debido a su situación geográfica la parroquia Angamarca exhibe dos climas distintos, uno subhúmedo con leve falta de agua y otro subhúmedo con una falta moderada de agua en la temporada seca. Los veranos son breves, agradables y nublados, mientras que los inviernos son cortos, fríos y parcialmente nublados a lo largo del año, las temperaturas suelen fluctuar entre 7°C y 19°C, y rara vez descienden por debajo de 5°C o superan los 22°C (GAD Angamarca, 2011).

### 10.2. Flora

La parroquia Angamarca cuenta con una flora abundante debido a su ubicación geográfica, estas varían dependiendo su altitud. En el PDOT 2021-2026 parroquial se encuentra registrada e identificadas 31 especies (León, 2021).

**Tabla 4** Especies identificadas y registradas de la flora de la parroquia Angamarca.

N°	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
1	Bromeliaceae	<i>Puya erynioidis</i>	Achupallas
2	Solanaceae	<i>Datura stramonium</i>	Chamico
3	Solanaceae	<i>Solanum nigrum</i>	Hierba mora
4	Solanaceae	<i>Brugmancea sanguínea</i>	Guanto
5	Fabaceae	<i>Daleo cerúlea</i>	Ashpachocho
6	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Cabuya negra
7	Berberidaceae	<i>Berberis microphylla</i>	Calafate
8	Campanulaceae	<i>Campanula carpatica</i>	Campánula
9	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i>	Canayuyo
10	Asteraceae	<i>Tagetes pusilla</i>	Anís de la sierra o pusillo
11	Asteraceae	<i>Bacharis salicifolia</i>	Chilca
12	Asteraceae	<i>Chuquiria huainsignis</i>	Chuquiragua
13	Asteraceae	<i>Gynoxys</i>	Piguil, Quiebramache
14	Asteraceae	<i>Espeletaia schultzil</i>	Frailejón
15	Asteraceae	<i>Taraxazum officinales</i>	Diente de león

16	Asteraceae	<i>Biden shumilis</i>	Ñakcha
17	Lygodiaceae	<i>Mitrophora semilibera</i>	Crespilla
18	Monimiaceae	<i>Cymbogogon citratus</i>	Limoncillo
19	Apiaceae	<i>Antoría parietina</i>	Líquines
20	Santalaceae	<i>Phoradendrom sp</i>	Mote de páramo
21	Urticaceae	<i>Urtica ballatefolia</i>	Ortiga negra
22	Poaceae	<i>Stipaicchu</i>	Paja
23	Verbenaceae	<i>Verbena litoralis</i>	Verbena
24	Poaceae	<i>Cortadela ridiuscula</i>	Sigse
25	Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea</i>	Trinitaria
26	Budlejaceae	<i>Buddleia incana</i>	Quishuar
27	Berberidaceae	<i>Berberis microphylla</i>	Calafate
28	Bromeliaceae	<i>Tillandsia usneoides</i>	Musgo español
29	Brunelliaceae	<i>Mitrophora semilibera</i>	Cespilla
30	Campanulaceae	<i>Campanula L</i>	Campánula
31	Onagraceae	<i>Fuchsia Hybrida</i>	Pendientes de la reina

*Nota:* Especies identificadas y registradas de la flora de la parroquia Angamarca. Fuente: León (2021).

### 10.3. Fauna

La fauna de la parroquia Angamarca es diversa debido, a su variación altitudinal en esta se encuentra especies de mamíferos, aves, anfibios y reptiles. Entre las principales especies registradas se encuentran 11 especies de aves, 1 mamíferos, 1 reptil, 3 anfibios y 1 pez.

**Tabla 5** Especies identificadas y registradas de la fauna de la parroquia Angamarca.

Animales	FAMILIA	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN
----------	---------	----------------------	-----------------

Aves	Cathartidae	<i>Vultur gryphus</i>	Cóndor
	Accipitidae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Guarro
	Falconidae	<i>Phalcoboenus carúnculos</i> <i>Buteo polyosoma</i>	Curinquinque
	Accipitridae	<i>Bubo virginianus</i>	Gavilán común
	Strigidae	<i>Zonotrichia capensis</i>	Búho
	Passeridae	<i>Geranoaetus melanoleucus</i>	Corrión
	Accipitridae		Águila de páramo
	Phasianidae	<i>Nothoprocta curvirostris</i>	Perdiz
	Columbidae	<i>Zenaida auriculata</i>	Tórtola orejuda
	Columbidae	<i>Streptopelia roseogrisea</i>	Tórtola collareja
	Trochilidae	<i>Vanellus resplendens</i>	Zumbador
	Turdidae	<i>Turdus fuscater</i>	Mirlo
	Mamíferos	Soricidae	<i>Cryptotis equatoris</i>
Camelidae		<i>Lamas pacos</i>	Alpaca
Mephitidae		<i>Mephitidae</i>	Zorrillo
Canidae		<i>Lycalopex culpaeus</i>	Zorro andino
Peces	Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Conejo silvestre o liebre
	Bovidae	<i>Mazam rufina</i>	Cervicabra
	Cervidae	<i>Pudu mephistophiles</i>	Ciervo enano
	Mustelidae	<i>Mustela frenata</i>	Chucuri
	Camelinae	<i>Lama glama</i>	Llama
	Bovidae	<i>Bos taurus</i>	Vaca
	Bovidae	<i>Ovis aries</i>	Oveja
Peces	Salmonidae	<i>Salmo trutta</i>	Trucha

*Nota:* Especies identificadas y registradas de la fauna de la parroquia Angamarca. Fuente: GAD Angamarca (2011).

## **11. METODOLOGÍA**

La investigación del siguiente proyecto se realizó basándose en las siguientes metodologías que garantizan la eficiencia y veracidad del trabajo.

### **11.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo se basó en un tipo de investigación descriptiva, cartográfica y bibliográfica, con fin de desarrollar de una manera efectiva los objetivos propuestos. Mediante un enfoque cualitativo, inductivo y cualitativo.

#### **11.1.1. Investigación descriptiva**

La investigación descriptiva se enfoca en observar, identificar y detallar de manera sistemática las características de un fenómeno o situación sin establecer relaciones casuales, su propósito principal es recolectar información precisa que permita caracterizar los objetos de estudio, describiendo sus propiedades y comportamientos en contextos determinados sin buscar explicaciones sobre las causas subyacentes (Sampieri, 2014).

Este tipo de investigación permitió definir y clasificar las distintas clases de cobertura vegetal presentes en los páramos de la parroquia Angamarca, durante el período de estudio comprendido entre 2016 y 2024, facilitando la identificación, documentación y la determinación funcional de cada tipo de cobertura aportando datos valiosos para su interpretación.

Al no requerir de hipótesis casuales el enfoque descriptivo resultó útil para la elaboración de mapas temáticos y el desarrollo de comparaciones multitemporales, lo cual permitió visualizar y analizar las variaciones en el paisaje de forma objetiva y estructurada.

#### **11.1.2. Investigación cartográfica**

La investigación cartográfica constituye un enfoque de investigación basado en el uso de mapas como herramientas fundamentales para analizar fenómenos territoriales desde una perspectiva espacial y temporal. Este método permite observar, describir e interpretar la distribución y evolución de las variables geográficas en un área determinada facilitando la identificación de patrones, relaciones y procesos. Los mapas cumplen funciones clave en la organización, comunicación y representación del espacio geográfico, así como en la comprensión del entorno y la proyección de posibles escenarios futuros (Fiveable, 2024).

Este tipo de investigación fue aplicada para examinar la dinámica espacial y temporal de la cobertura vegetal, a través de la elaboración de mapas temáticos se logró representar con

precisión los cambios ocurridos en el paisaje, permitiendo visualizar las transformaciones en el uso del suelo y generar una interpretación clara de los procesos involucrados. Esta herramienta facilitó el análisis multitemporal y la identificación de patrones de cambio, lo cual aportó significativamente a la comprensión del fenómeno estudiado.

### **11.1.3. Investigación bibliográfica**

La investigación bibliográfica se basa en la recopilación, análisis y sistematización de fuentes documentales como libros, artículos científicos, informes técnicos y normativas, con el objetivo de proporcionar un sustento teórico que facilite la comprensión del objetivo de estudio. Este enfoque permite reunir información relevante para poder contrastar diferentes perspectivas y contextualizaciones al problema de investigación dentro del marco del conocimiento existente (Sampieri, 2014).

Este tipo de investigación permitió fundamentar teóricamente el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, la revisión de literatura incluyendo documentos relacionados con el uso y cambio del suelo, procesos de degradación del páramo, dinámica de los ecosistemas y metodologías aplicadas en el análisis espacial. Esta base documental sirvió como soporte para integrar los resultados empíricos, establecer antecedentes relevantes y enriquecer la discusión desde un enfoque multidisciplinario.

## **11.2. Métodos**

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se aplicaron los siguientes métodos.

### **11.2.1. Método Cualitativo**

El método cualitativo se orienta a la comprensión profunda de fenómenos sociales, conductuales o territoriales priorizando el análisis del significado y valor que estos adquieren desde la perspectiva de los actores involucrados, en lugar de centrarse exclusivamente en la cuantificación de los datos (Neill, 2017). Este enfoque permite explorar cómo se han desarrollado las interacciones, relaciones y dinámicas en contextos específicos considerando sus dimensiones culturales, históricos y ambientales.

Se aplicó el enfoque cualitativo para poder examinar los cambios en la cobertura vegetal la metodología se basó en la observación directa, análisis documental, interpretación de imágenes satelitales y cartográficas, lo que permitió identificar los tipos de cobertura presente en los distintos años, así como los factores que han influido en su transformación. La aplicación

de este método contribuyó a interpretar los procesos de cambio desde una perspectiva contextualizada, incorporando elementos socioambientales relevantes para la evaluación del territorio.

### **11.2.2. Método Inductivo**

El método inductivo es una forma de razonamiento la cual parte de las observaciones de los hechos particulares para llegar a conclusiones generales, se basa en la recopilación sistemática de datos y en la identificación de patrones o regularidades. A partir de estas observaciones se formulan hipótesis o preguntas de investigación que expliquen los fenómenos estudiados (Jiménez, 2017).

Se aplicó el método inductivo al analizar imágenes satelitales correspondiente a los años 2016 y 2024, para identificar los cambios en la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca. A partir de estas observaciones de las distintas clases de la cobertura vegetal, se identificaron patrones de transformación del paisaje. Así, el método inductivo facilitó la interpretación de los cambios observados.

### **11.2.3. Método Deductivo**

El método deductivo es una forma de razonamiento la cual parte de principios generales o teóricas para llegar a conclusiones específicas, se basa en la lógica y en la aplicación de leyes o conceptos ya establecidos para explicar los fenómenos concretos. A diferencia del método inductivo no requiere de observaciones empíricas iniciales (Jiménez, 2017).

Se empleó el método deductivo a partir de conceptos generales sobre el cambio de la cobertura vegetal y sus efectos en los ecosistemas del páramo. Con base en teorías ecológicas y normativas establecidas se analizó, la información geoespacial obtenida para verificar si los cambios observados coinciden con los patrones descritos.

### **11.2.4. Metodología CORINE Land Cover**

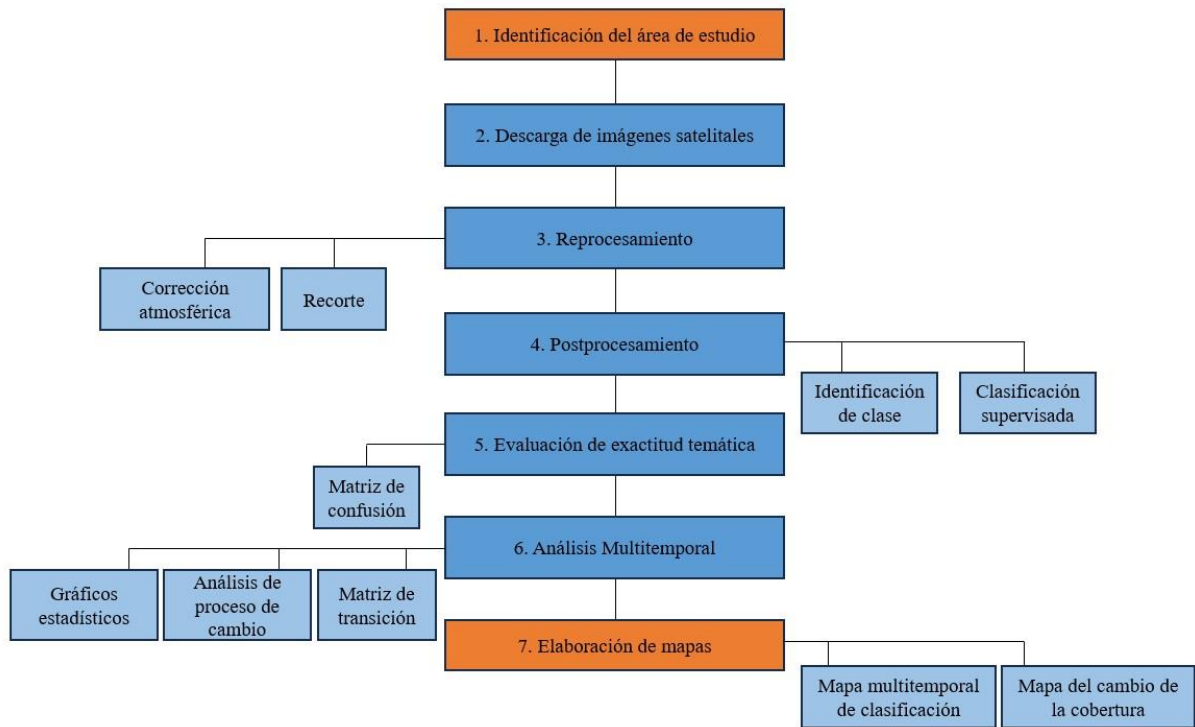
La metodología CORINE Land Cover es un inventario cartográfico desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente, que clasifica el territorio en categorías estandarizadas de cobertura y uso de fuentes complementarias permitiendo, una representación detallada de elementos como zonas urbanas, áreas agrícolas, cuerpos de agua, entre otros generalmente a una escala de 1:100.000 (AEMA, 2018).

La aplicación de esta metodología permitió categorizar el uso del suelo en la zona de estudio, mediante el uso de criterios jerárquicos y homogéneos. Esto facilitó la elaboración de

un análisis multitemporal estandarizado con base en imágenes satelitales lo que permitió, identificar con precisión los cambios en la cobertura vegetal, la estructura sistemática de CORINE Land Cover favoreció una comprensión clara de las transformaciones territoriales y sus implicaciones ambientales, aportando rigurosidad técnica al análisis espacial realizado.

**Figura 3**

*Esquema metodológico CORINE Land Cover para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal*



*Nota:* Metodología para realizar el procesamiento de imágenes satelitales. Elaborador por el Autor.

### 11.3. Técnicas

Para el desarrollo del presente proyecto de investigación se utilizaron las siguientes técnicas.

#### 11.3.1. Recopilación de datos

La obtención de datos se llevó a cabo mediante métodos de teledetección, he implementación de sensores a distancia para examinar variaciones espectrales en la superficie de la Tierra. Se incorporaron capas vectoriales en formato Shape file, adquiridas del portal de Información Espacial del Ecuador. Luego se utilizó el software QGIS para definir el área de estudio.

#### 4

*Descarga de capas en formato Shape File.*

**Figura**

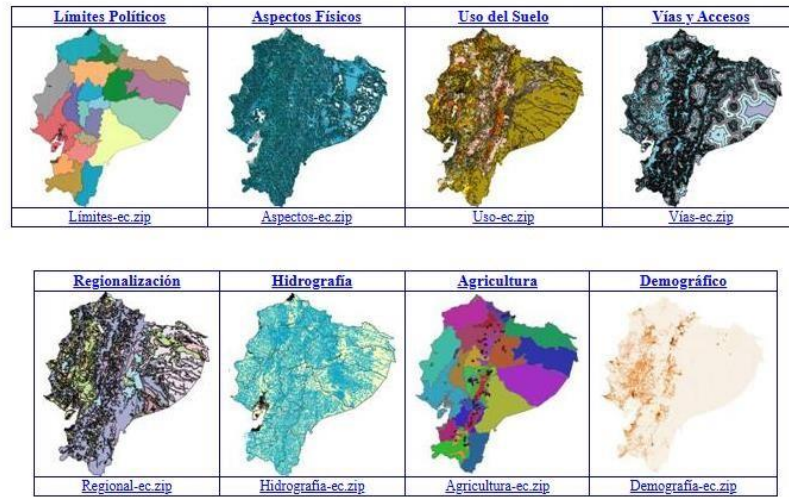
**“Sistemas de Información Geográfica para Aplicaciones Agropecuarias en el Ordenamiento de Territorio y Manej Integral de Cuencas”**

### Información Espacial del Ecuador

Formato Shape File (ESRI) para bajar

Para bajar metadatos del tema, presione en el título del mapa  
 Para bajar la información shape file, presione en el nombre \*.zip del mapa

Estos mapas se ven con el programa ArcExplorer que lo puede conseguir en ESRI



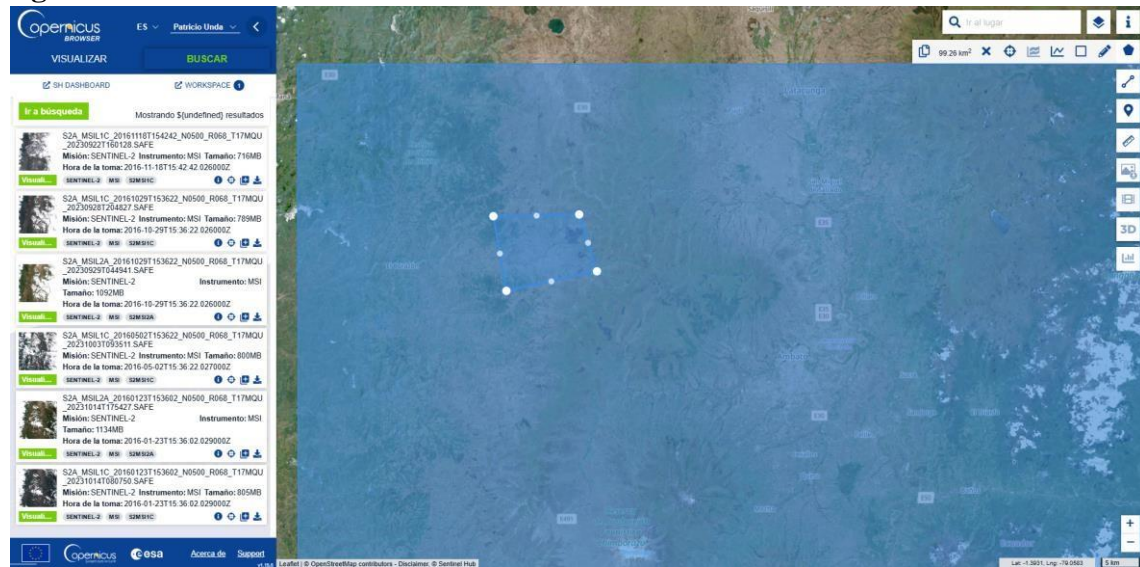
*Nota:* Captura de pantalla del Sistema de Información Espacial del Ecuador. Elaborador por el Autor.

Para llevar a cabo el estudio multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el periodo 2016-2024, se llevó a cabo la descarga de imágenes satelitales provenientes del programa Copernicus, específicamente del sensor MSI que se encuentra ubicado en el satélite Sentinel-2. Se otorgó prioridad a la elección de bandas con baja cobertura de nubes y una resolución espacial de 10 m, con el fin de garantizar la calidad radiométrica y espacial de los datos. También, se emplearon filtros de búsqueda específicos como fechas y un porcentaje de nubosidad inferior al 20%.

## 5

*Descarga de imágenes satelitales del programa Copernicus de los años 2016 y 2024.*

Figura



*Nota:* Captura de pantalla de la página de descarga de las imágenes satelitales correspondiente a los años 2016 y 2024. Elaborado por el Autor.

Se priorizo aquellas imágenes satelitales con las mejores condiciones de nubosidad y visibilidad en el área de estudio. La zona de interés, fue delimitada mediante un polígono de aproximadamente 99.26 km<sup>2</sup>, lo cual permitió la descarga de datos óptimos del satélite Sentinel-2.

Para el año 2016 la imagen satelital utilizada mostrada en la Figura 6, fue seleccionada aplicando filtros de búsqueda con un umbral máximo de nubosidad del 25%, asegurando que el área de estudio se encuentre libre de cobertura nubosa. La captura de la imagen corresponde al 18 de noviembre del 2016, a las 15:42 (UTC).

## 6

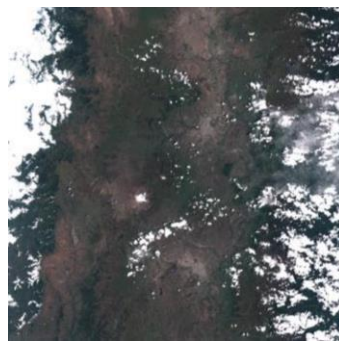
*Imagen satelital descargada del año 2016.*



**Figura**

*Nota:* Imagen satelital descargada de la página Copernicus del año 2016. Elaborado por el Autor.

Para el año 2024 la imagen satelital utilizada mostrada en la Figura 7, fue seleccionada aplicando filtros de búsqueda con un umbral máximo de nubosidad del 25%, asegurándose que el área de estudio se encuentre libre de cobertura nubosa. La captura de la imagen corresponde al 17 de octubre del 2024, a las 15:37 (UTC).

**Figura 7** Imagen satelital descargada del año 2024.

*Nota:* Imagen satelital descargada de la página Copernicus del año 2024. Elaborado por el Autor.

**11.3.2. Clasificación de la cobertura vegetal Nivel I**

Se empleó una clasificación de cobertura vegetal de nivel tipo I, conforme a la Leyenda Nacional de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental, emitida por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), la cual permite identificar y categorizar las unidades de uso del suelo, se basó en una escala de trabajo de 1: 25.000, lo que facilitó una

interpretación precisa de las dinámicas de cambio en los ecosistemas del páramo. Esta tipología fue aplicada con base en los insumos territoriales disponibles para el área de estudio (MAGAP, 2015). A continuación, se muestra la tabla 4 acerca de la caracterización de la cobertura vegetal.

**Tabla 6** Cobertura y uso de la tierra establecido por el Ministerio de Agricultura.

<b>LEYENDA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA ESCALA 1:25.000</b>		
<b>Nivel</b>	<b>Clase</b>	<b>Código</b>
<b>NIVEL I</b>	Tierra herbácea	1
	Tierra forestal	2
	Tierra agropecuaria	3
	Suelo sin cobertura vegetal	4
	Zona antrópica	5

*Nota:* Leyenda nivel I para la clasificación de la cobertura vegetal. Fuente: MAGAP (2015).

### 11.3.3. Reprocesamiento de datos

Para garantizar la precisión y comparabilidad de las imágenes satelitales utilizadas en el análisis multitemporal, se aplicó la técnica de reprocesamiento de datos. Este proceso consistió en la corrección geométrica para alinear espacialmente las imágenes y la corrección atmosférica para eliminar interferencias causadas por la atmósfera. Estas acciones fueron fundamentales para homogenizar las imágenes provenientes de los distintos años y sensores, el reprocesamiento aseguró que los datos estuvieran en condiciones óptimas para aplicar técnicas como la clasificación supervisada y el cálculo de tasas de cambio.

### 11.3.4. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos constituyó una etapa clave en el desarrollo del análisis multitemporal, una vez reprocesadas las imágenes satelitales se procedió a su clasificación mediante algoritmos supervisados, lo que permitió identificar las distintas clases de cobertura presentes en la parroquia Angamarca. Este proceso incluyó la aplicación de herramientas SIG para calcular superficies, generar mapas temáticos y elaborar matrices de transición.

### 11.3.5. Clasificación supervisada

La clasificación supervisada se realizó a cabo en QGIS mediante el uso de la herramienta plugin Semi-Automatic Plugin (SCP) con el propósito, de reconocer y diferenciar los distintos tipos de cobertura vegetal de las imágenes satelitales proporcionadas.

Este procedimiento implica instruir al programa en la identificación de diversas superficies terrestres como, tierra herbácea, tierra forestal, tierra agropecuaria, suelo sin vegetación y zona antrópica, eligiendo previamente pequeñas áreas representativas de cada categoría establecidas como muestras de entrenamiento. Una vez establecidas estas muestras el software examina la conducta del color y el resplandor de los píxeles y los clasifica de acuerdo a la categoría a la que pertenecen (Congedo, 2021).

### Figura 8

*Selección de muestras para la clasificación supervisada.*

MC ID	Name	Color
1	Tierra Arbustiva TA	
2	Tierra Herbácea TH	
3	Tierra Agropecuaria TA	
4	Suelo sin Cobe... SCV	
5	Zona Antrópica ZA	

*Nota:* Muestras de entramiento para la clasificación supervisada realizada en Excel.

Elaborado por el Autor.

#### 11.3.6. Evaluación de exactitud temática

La valoración de la precisión temática fue paso crucial en el estudio de imágenes clasificadas pues esta posibilidad, comprobar la confiabilidad de los resultados logrados a través de métodos de teledetección, este procedimiento se fundamentó en la comparación entre la clasificación producida y los datos de referencia tomados en cuenta, tales como las observaciones de imágenes de alta resolución.

La matriz de confusión es el método más empleado para este análisis (ver tabla 5), que facilita el cálculo de matrices como la precisión global, la precisión del usuario, la precisión del productor y el índice Kappa, que representan el nivel de concordancia entre la clasificación y la realidad (Chuvieco, 2010).

**Tabla 7.** *Matriz de confusión para verificar la exactitud de la clasificación de la cobertura vegetal.*

---

**CLASES DE MUESTREO**

	A1	A2	...	AM	Total mapa	Exactitud Usuario	Error Comisión
A1	$a_{11}^*$	$a_{12}$	...	$a_{1m}$	$a_{.1}$	$a_{.1}/a_{..}$	$1 - (a_{.1}/a_{..})$
A2	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2m}$	$a_{.2}$	$a_{.2}/a_{..}$	$1 - (a_{.2}/a_{..})$
...			...				
AM			...	$a_{mm}$	$a_{.m}$	$a_{.m}/a_{..}$	$1 - (a_{.m}/a_{..})$
Total muestreo	$a_{1.}$	$a_{2.}$	...	$a_{.m}$	$a_{..}$		
CLASES MAPA	Exactitud	$a_{1.}/a_{..}$	$a_{2.}/a_{..}$	...	$a_{.m}/a_{..}$		
	Productor				$a_{.m}/a_{..}$		
	Error	1	1	...	1		
	Emisión	$1 - (a_{1.}/a_{..})$	$1 - (a_{2.}/a_{..})$	...	$1 - (a_{.m}/a_{..})$		

*Nota:* Matriz de confusión realizada en Excel. Fuente: Chuvieco (2010).

Donde:

A1 y A2 = Representan distintas categorías para la cobertura vegetal.

AM = Total de clases existentes.

Total Muestreo = Suma de columnas de cada una de las categorías.

Total Mapa = Suma de las filas de cada una de las categorías.

Precisión = Precisión de la clasificación de la cobertura vegetal.

Error Comisión = Elementos que no pertenecen a la clase que aparece en ella.

Error Emisión = Elementos que perteneciendo a la clase no aparecen en ella.

### 11.3.7. Índice kappa

El coeficiente kappa se empleó para evaluar la precisión de la clasificación de las imágenes satelitales, comparando los resultados obtenidos con datos de referencia para lo cual se aplicará la siguiente fórmula.

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Donde:

Po = Es la proporción de acuerdos observados.

Pe = Es la proporción de acuerdos esperados.

A continuación, se muestra en la tabla 6, la definición de concordancia al índice kappa propuesta por (Abraira, 2025).

**Tabla 8** Concordancia del índice kappa

Kappa (k)	Grado de acuerdo
< 0.00	Sin acuerdo
0.00-0.20	Insignificante
0.21-0.40	Mediano
0.41-0.60	Moderado
0.61-0.80	Sustancial
0.81-1.00	Casi perfecto

*Nota:* Valores de validación para la matriz de confusión. Fuente: Abraira (2025).

### 11.3.8. Matriz de transición

Para analizar los cambios de la cobertura vegetal en el período de estudio se utilizaron dos imágenes de tipo ráster clasificadas, correspondiente mente a los años de estudio previamente, procesadas y recortadas en el área de estudio. Estas imágenes fueron cargadas en el software QGIS donde se aseguró la homogeneidad en la resolución espacial y el sistema de referencia. Para garantizar la comparabilidad entre ambas fechas se aplicó una reclasificación mediante la herramienta Reclassify by Table, o con la Calculadora Ráster, asignando un código numérico y coherente a cada clase de cobertura.

**Tabla 9** Matriz de transición para determinar la cobertura vegetal.

		Fecha 2				Suma total fecha 1 ( $P_{i+}$ )	Pérdida ( $L_i$ )
		Cat (1 <sub>j</sub> )	Cat 2	Cat 3	Cat <sub>j</sub>		
Fecha 1	Cat 1(j)	P11	P12	P13	P1j	P1+	P <sub>1+</sub> -P <sub>11</sub>
	Cat 2	P21	P22	P23	P2j	P2+	P <sub>2+</sub> -P <sub>22</sub>
	Cat 3	P31	P32	P33	P3j	P3+	P <sub>3+</sub> -P <sub>33</sub>
	Cat <sub>i</sub>	P <sub>i1</sub>	P <sub>i2</sub>	P <sub>i3</sub>	P <sub>ij</sub>	P <sub>i+</sub>	
Suma total fecha 2 ( $P_{+j}$ )		P+1	P+2	P+3	P+j	1	

<b>Ganancia (Gj)</b>	$P_{+1}-P_{11}$	$P_{+2}-P_{22}$	$P_{+3}-P_{33}$
<b>Cambio total (Ct)</b>	$= L + G$		
<b>Cambio neto (Cn)</b>	$= Ct-Int$		
<b>Intercambio (Int)</b>	$= 2*\min(L,G)$		

*Nota:* Matriz de transición elaborada en Excel para determinar la cobertura vegetal. Fuente: Gutiérrez (2015).

A la matriz de transición se le incorpora una columna adicional al final que representa la suma total de superficie por categoría del segundo año (P+j), y una fila en la parte inferior que muestra la suma total de categorías del primero año. Estas extensiones permiten calcular indicadores clave como la ganancia, pérdida, persistencia, cambio total, cambio neto e intercambio, tal como propone Gutiérrez (2015). De este modo, no solo se puede conocer cuánto ha cambiado una clase de cobertura, sino también cómo ha ocurrido ese cambio. Para calcular la ganancia de una categoría en la segunda fecha se utiliza la fórmula:

$$Gj = P + j - pjj$$

Donde:

P+j = Es el área total de la categoría j en la segunda fecha.

Pjj = Es el área que se mantuvo sin cambios.

La pérdida de una categoría en la primera fecha se calcula con:

$$Li = Pi + -Pjj$$

Donde:

Pi+ = Es el área total de la categoría i en la primera fecha.

Pjj = Es la persistencia.

El intercambio (Int) representa los cambios recíprocos entre categorías cuando una categoría pierde superficie en un sitio y gana en otro. Se calcula con la fórmula:

$$Int = 2xMIN(Pi + -Pjj, P + j - Pjj)$$

### 11.3.9. Cálculo de cambio de la cobertura vegetal

Para identificar la dinámica y la variación de la cobertura vegetal se realizó el cálculo de la tasa de cambio, empleada por FAO (1996):

$$t = \left( \frac{S_1 - S_2}{S_1} \right)^n$$

Donde:

t = es la tasa de cambio.

S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> = son las superficies de uso del suelo fecha inicial y fecha final. n

= es la duración del periodo de estudio.

El valor negativo de t indica una reducción de la cobertura en cambio si t es mayor a cero la cobertura ha incrementado. Para determinar el porcentaje y la dinámica de cambio de la cobertura vegetal en el área de estudio, se utilizó la matriz de transición observada en la Tabla 8, mediante la cual se compararon las superficies en km<sup>2</sup> y sus representaciones porcentuales entre los años 2016 y 2024. Esta comparación permitió identificar con precisión los cambios ocurridos en cada clase, de cobertura evidenciando tendencias de pérdida, ganancia o estabilidad en el ecosistema del páramo.

**Tabla 10** *Matriz de cambio 2016-2024 de la cobertura vegetal.*

Clases	Superficie y tasa anual de cambio (t)					
	Año 2016		Año 2024		cambio (t)	
	Ha	%	Ha	%	Ha	TAC
1 Tierra herbácea	a1		b1		a1-b1	%
2 Tierra arbustiva	a2		b2		a2-b2	%
3 Tierra agropecuaria	a3		b3		a3-b3	%
4 Suelo son cobertura vegetal	a4		b4		a4-b4	%
5 Zona antrópica	a5		b5		a5-b5	%
Área total						

*Nota:* Comparación de cada tipo de cobertura vegetal.

### 11.3.10. Elaboración de mapas

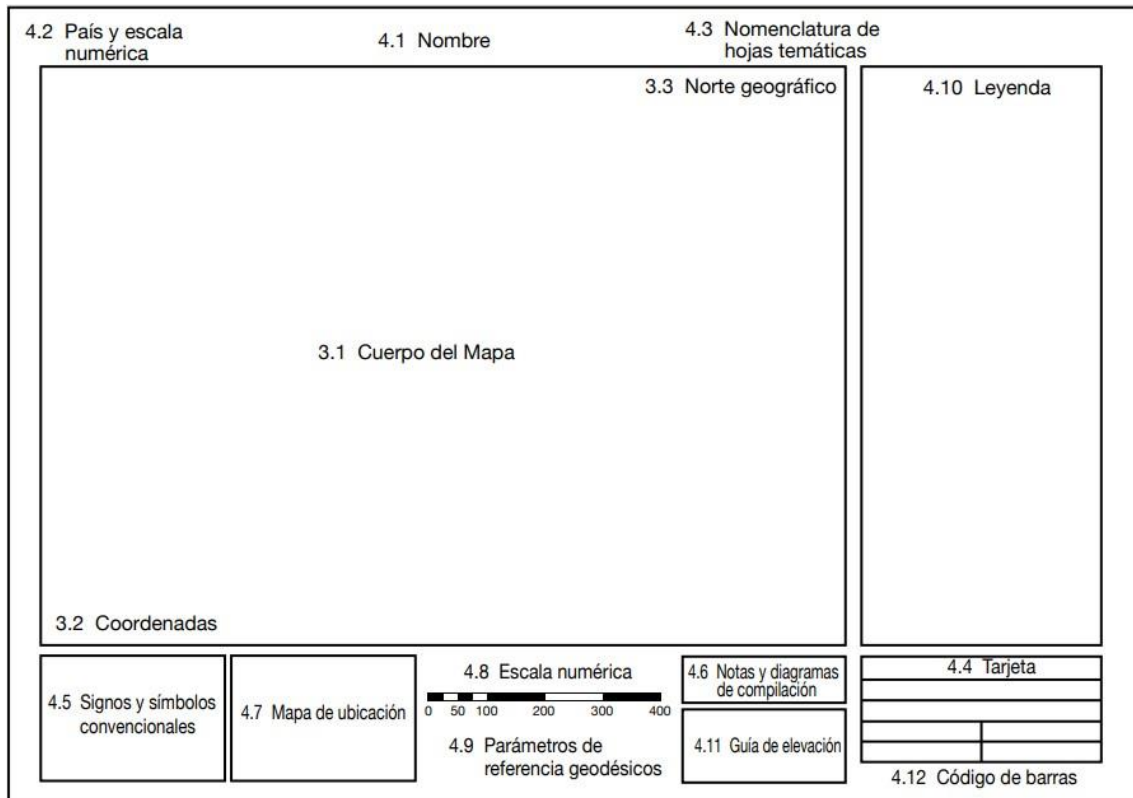
Se empleó el software QGIS para la creación de mapas en el que se elaboró la información geográfica siguiendo los "Estándares de Información Geográfica" una metodología, definida por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo del Ecuador.

Esta metodología permite a los usuarios la generación, procesamiento, uso, intercambio, actualización y difusión de información geográfica a escala nacional, utilizando definiciones y terminología acreditada para la comprensión, optimización de recursos y la eficacia de los procesos relacionados con este tema (SENPLADES, 2022).

Basándonos en los aspectos técnicos, se muestra una propuesta gráfica del diseño, disposición y localización de la cartografía, así como de los datos marginales mínimos ver Figura 12.

### Figura 9

*Diseño gráfico requisitos mínimos de información marginal para cartografía temática.*



Nota: Estándares de información geográfica requisitos mínimos de información marginal para cartografía temática. Fuente: SENPLADES (2022).

### 11.4. Población y muestra

En el desarrollo de esta investigación no se utilizó una población ni muestra de tipo poblacional o social. La unidad del análisis corresponde a la totalidad del territorio de la parroquia Angamarca la cual corresponde a 269821 Ha. Por lo tanto, se trabajó con la cobertura vegetal completa del área de estudio sin la necesidad de aplicar técnicas de muestreo.

### 11.5. Instrumentos y materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó diversos instrumentos y materiales que permitieron llevar a cabo el análisis multitemporal de la cobertura vegetal en la parroquia Angamarca.

**Tabla 11** Instrumentos y materiales utilizados en el proyecto de investigación.

<b>Instrumentos</b>	<b>Materiales</b>
QGIS	Imágenes satelitales Sentinel-2
Copernicus	Cartografía base MAATE
Computadora	Leyenda oficial MAATE Nivel I
Microsoft Excel	Documentación técnica y bibliográfica

*Nota:* Instrumentos y materiales utilizados en el proyecto de investigación. Elaborado por: Unda (2025).

## 12. COMPROBACIÓN A LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Entre los años 2016 y 2024 los páramos de la parroquia Angamarca, ha experimentado cambios significativos en la extensión y distribución de su cobertura vegetal, evidenciando una transformación del ecosistema. Los análisis multiespectrales revelan que el 43.5% del territorio sufrió algún tipo de modificación mientras que el 56.5% se mantuvo sin cambios lo que indica, una dinámica territorial en la que coexisten las zonas conservadas con las zonas sometidas a una presión antrópica.

El cambio más notorio fue el incremento del suelo sin cobertura vegetal que pasó del 47.46% en el 2016 al 50.46% en el 2024, lo que refleja una pérdida progresiva de la vegetación nativa vinculada a procesos de sobrepastoreo, quema de pajonales, expansión de cultivos y a la erosión del suelo. De manera paralela la cobertura arbustiva la cual es clave para la estabilidad ecológica del páramo se redujo del 29.92% al 21.14%, siendo reemplazada por herbazales o suelos desnudos lo cual responde a la conservación del uso del suelo, por actividades agrícolas intensivas y a la falta de medidas de protección.

Si bien la cobertura herbácea aumentó del 20.87% al 26.71% este cambio no necesariamente representa una mejora ecológica debido, a que muchos de los casos implican la colonización de especies forrajeras o introducidas las cuales desplazan a la vegetación nativa. Asimismo, se observó un leve aumento de la zona antrópica de 0.64% aumento a 1.02%, lo que evidencia un crecimiento disperso de asentamientos e infraestructuras en el territorio.

Finalmente, la tierra agropecuaria se redujo del 1.11% al 0.66%, lo que puede deberse al abandono de tierras cultivables o a su conversión hacia otras coberturas vegetales sin que ello implique necesariamente un proceso de restauración ecológica.

Estos cambios guardan una estrecha relación con los factores antrópicos como la ganadería extensiva, el abandono de tierras agrícolas, la expansión no planificada de la frontera agrícola y la ausencia de estrategias efectivas del ordenamiento territorial. En conjunto, estos elementos configuran un patrón de transformación que compromete la funcionalidad ecológica del páramo afectando, la regulación hídrica, la biodiversidad y la resiliencia frente al cambio climático.

### **13. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Mediante una evaluación multitemporal de la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca, se estudiaron las variaciones en la localización y el desarrollo de la vegetación en los años 2016 y 2024, para lo cual se utilizó imágenes satelitales Sentinel-2 obteniendo así los siguientes resultados.

#### **13.1. Procesamiento de imágenes satelitales Sentinel-2 correspondiente a los años 2016 y 2024**

##### **13.1.1. Selección de bandas**

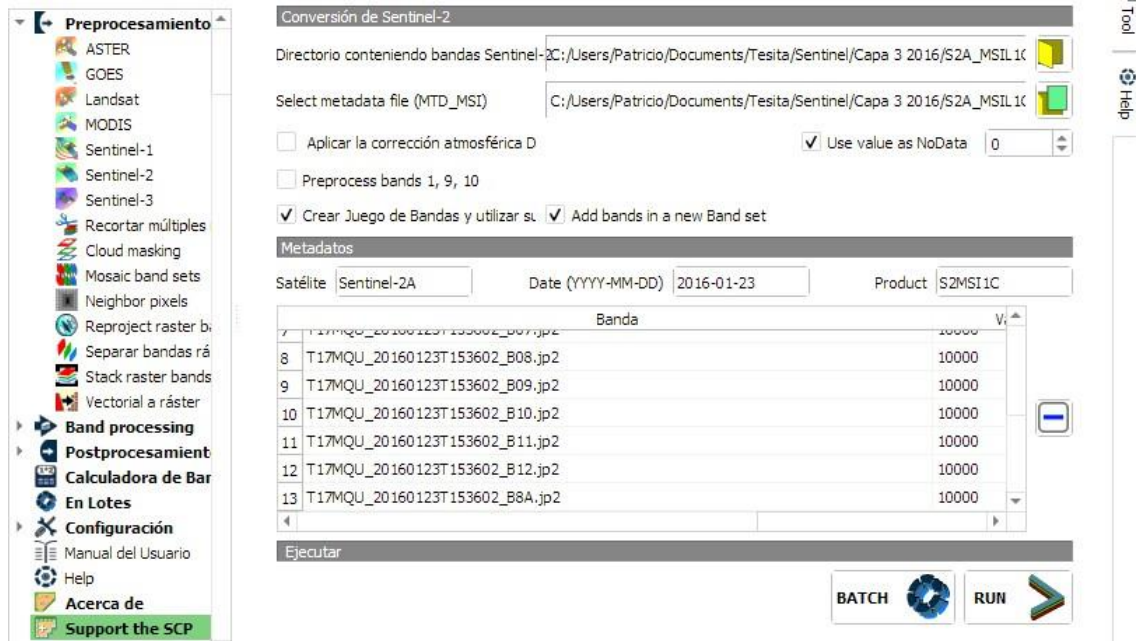
Para el estudio multitemporal de la variación en la cobertura vegetal en los páramos de la parroquia Angamarca se utilizó, imágenes satelitales del programa Copernicus específicamente del satélite Sentinel-2 la cual ofreció 13 bandas espectrales a una resolución espacial alta, idónea para el estudio de la vegetación. Las bandas B4 (rojo), B3 (verde), y B2 (azul), fueron empleadas de forma específica.

##### **13.1.2. Corrección atmosférica**

Para llevar a cabo la corrección atmosférica, se instaló el complemento SCP "SemiAutomatic Classification Plugin" en el Software QGIS. En este caso, se consiguió reflectancias superficiales exentas de interferencias atmosféricas como aerosoles, vapor de agua y gas, este procedimiento fue esencial para garantizar la comparación espectral entre las imágenes de distintas fechas posibilitando una evaluación precisa y multitemporal de las variaciones, en la cobertura vegetal en los páramos de la parroquia Angamarca durante el periodo de estudio.

**Figura 10**

*Corrección atmosférica de las imágenes satelitales Sentinel-2 en QGIS.*



*Nota:* Captura de pantalla de la corrección atmosférica realizada en QGIS. Elaborado por el Autor.

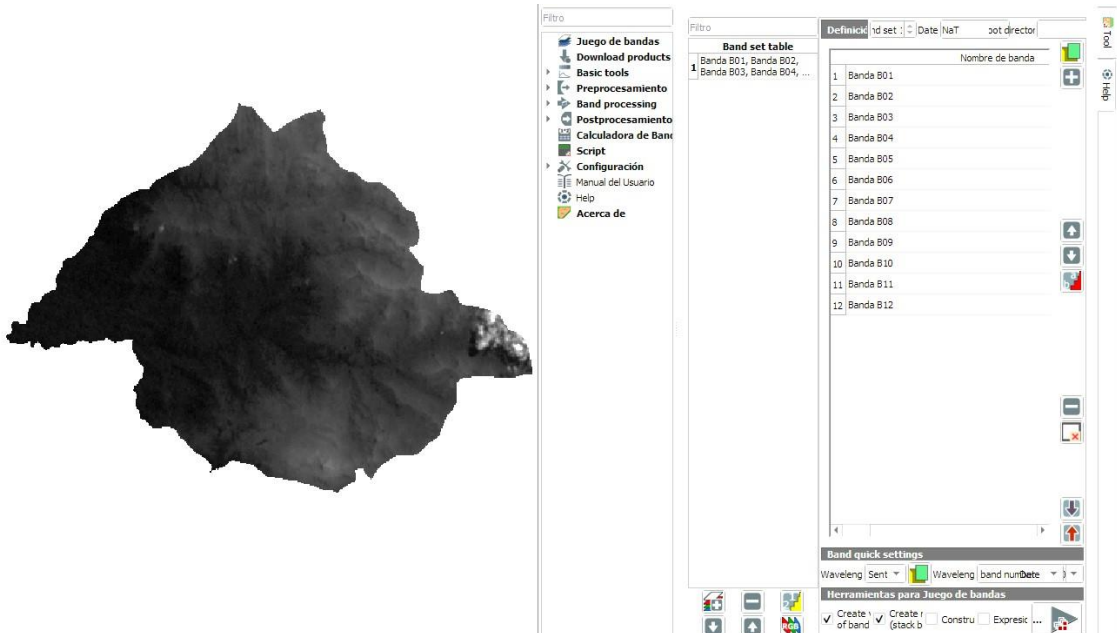
### 13.1.3. Combinación de bandas

Para el procesamiento de las imágenes satelitales se utilizó el Software QGIS, en la cual se generó una imagen multispectral compuesta a partir de las bandas B4 (rojo), B2 (azul) y B3 (verde) provenientes del satélite Sentinel-2, configurados en formato RGB (R=B4, G=B2, B=B3) para resaltar la vegetación mediante una composición color infrarrojo.

11

*Combinación de bandas con la herramienta "Semi-Automatic Classification Plugin":*

Figura



*Nota:* Captura de pantalla de la combinación de bandas realizada en QGIS. Elaborado por el Autor.

#### 13.1.4. Corte de los datos de entrada para el procesamiento de las imágenes

Para definir de manera espacial el área de estudio y mejorar el procesamiento de las imágenes satelitales Sentinel-2, se llevó a cabo un recorte "clipping" de los datos de entrada a través del software QGIS, primero se introdujo las imágenes previamente rectificadas atmosféricamente junto con la capa vectorial del Shape File del área de estudio. Luego, mediante la opción "recortar ráster por máscara", ubicada en la caja de herramientas de procesamiento de QGIS, se seleccionó las bandas espectrales corregidas como las últimas capas de entrada, junto con la capa Shape File del área de estudio.

Se estableció los parámetros con el fin de preservar la resolución espacial inicial de las imágenes y se seleccionó, el sistema de coordenadas apropiado para garantizar la consistencia espacial de la información este procedimiento, permitió producir imágenes ráster únicamente recortadas al área de interés, disminuyendo la cantidad de datos a procesar, mejorando el desempeño del software y simplificando los análisis subsiguientes de variaciones en la cobertura vegetal.

12

*Capa resultante de la combinación de bandas.*



flujos hídricos subterráneos. Además, su estructura vegetal densa y de bajo porte contribuye significativamente a la fijación del suelo actuando como barrera natural frente a los procesos erosivos.

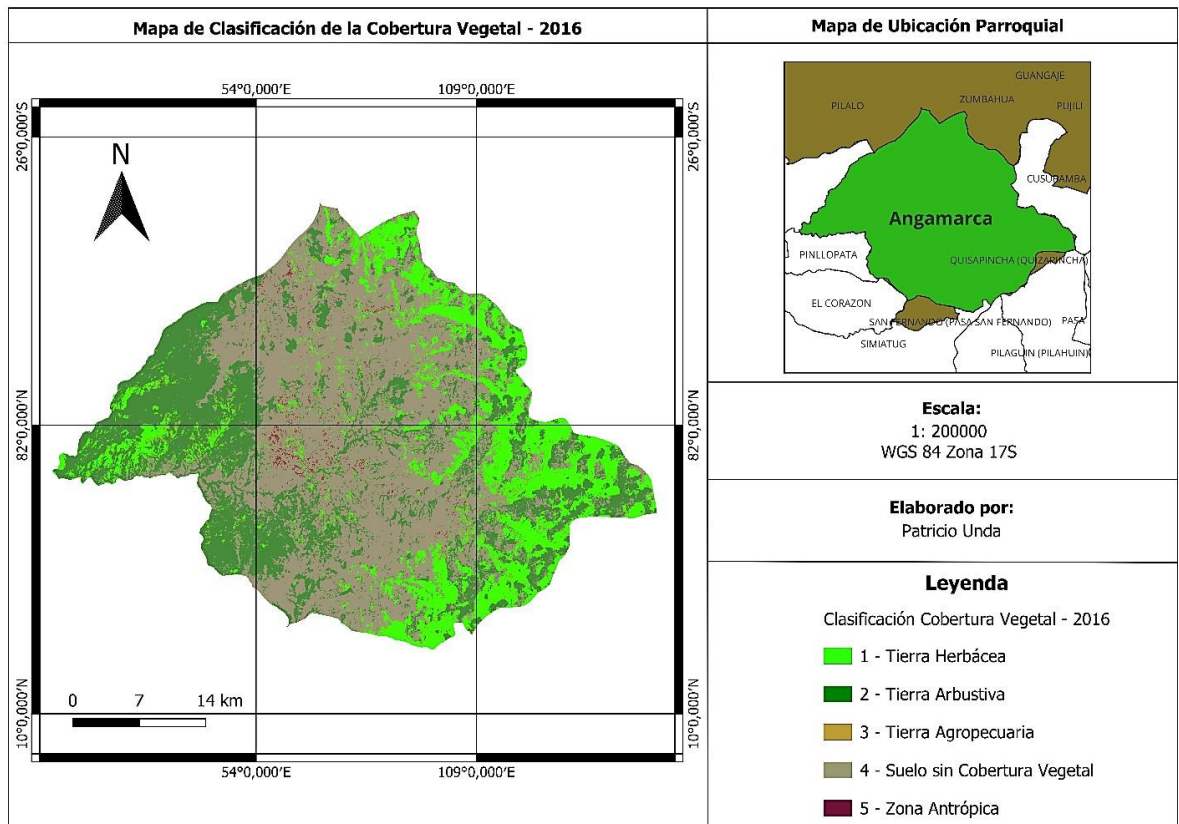
La tierra arbustiva se distribuye de forma irregular con mayor presencia en el sector occidental y algunas áreas de la parte sur, esta clase incluye formaciones vegetales compuestas por matorrales y arbustos propios de la zona de transición entre el bosque montano y el páramo. Estas unidades aportan una diversidad ecológica al sistema funcionando como hábitats intermedios para la fauna.

La tierra agropecuaria aparece de manera dispersa a lo largo del territorio evidenciando las zonas transformadas por las actividades humanas, particularmente la agricultura y la ganadería extensiva. Se concentra de áreas con accesibilidad vial y pendientes moderadas donde se han establecido cultivos y pastizales, afectando en muchos casos la dinámica natural del suelo y la vegetación nativa.

El suelo sin cobertura vegetal se observa en sectores intermedios y centrales correspondientes a áreas donde la vegetación ha sido removida debido a procesos naturales como deslizamientos e incendios, además de las actividades antrópicas intensivas estas zonas presentan una mayor vulnerabilidad a la degradación y pérdida de la funcionalidad ecosistémica.

Por último, la zona antrópica se idéntica principalmente en el centro y sureste del territorio se trata de superficies, ocupadas por infraestructuras urbanas, caminos, edificaciones y asentamientos humanos. Esta clase representa áreas con mayor grado de intervención y transformación del paisaje, asociadas al crecimiento poblacional y a los procesos de urbanización no planificada.

**Figura 13** Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2016.



*Nota:* Mapa realizado mediante el uso del software QGIS. Elaborado por el Autor.

A continuación, se presenta la tabla 12 que contiene la matriz de confusión para la verificación del mapa mediante la clasificación supervisada correspondiente al año 2016, en la que se evidencia los aciertos y errores utilizando el software QGIS.

La matriz de confusión indica una precisión total del 96% en la clasificación, lo que indica que la clasificación supervisada fue efectuada correctamente, y con un índice Kappa del 95%, estableciendo un grado de precisión casi perfecto en la clasificación realizada.

**Tabla 12** Matriz de confusión de la clasificación de la cobertura vegetal año 2016.

Clase	1 Tierra Herbácea	2 Tierra Arbustiva	3 Tierra Agropecuaria	4 Suelo sin Cobertura Vegetal	5 Zona Antrópica	Total	Precisión	Error de Comisión
1 Tierra Herbácea	47	0	0	0	0	47	100	0
2 Tierra Arbustiva	0	50	1	0	3	54	93	4

3 Tierra Agropecuaria	3	0	47	0	0	50	94	3
4 Suelos sin Cobertura Vegetal	0	0	2	49	1	52	94	3
5 Zona Antrópica	0	0	0	1	46	47	98	1
<b>Total</b>	50	50	50	50	50	<b>250</b>	<b>95,60</b>	
Error Omisión	3	0	3	1	4			

Índice kappa	Variable	Índice	Porcentaje %
Precisión Global o concordancia	po	0,96	96
Proporción Esperada	pe	0,2	20
índice kappa	k	0,95	95

*Nota:* Validación de la clasificación de la cobertura vegetal mediante la matriz de confusión.

Elaborado por el Autor.

En la tabla 13 se determinó las áreas de la zona de estudio en hectáreas (Ha) de la cobertura vegetal presente en sus cinco clases y sus respectivos porcentajes durante el año 2016, en total el área clasificada fue de 26.9821 Ha, dentro de esta área total la clase con mayor extensión es el suelo sin cobertura vegetal la cual ocupa 128.054 Ha, representando un 47.46% del territorio, esta cifra indica una implica presencia de zonas degradadas o con escasa vegetación natural.

Le sigue la tierra arbustiva con 80.724 Ha representado un 29.92%, lo cual evidencia una cobertura importante de arbustos y matorrales en el territorio, la tierra herbácea ocupa 56,323 Ha, representando un 20.87% correspondiente principalmente a pajonales y vegetación baja características en los páramos.

En menor proporción se encuentra la tierra agropecuaria con 2.992 Ha representado un 1.11 % lo que indica una intervención agrícola limitada, aunque presente en la zona, finalmente, la zona antrópica que representa asentamientos humanos y construcciones ocupa 1.728 Ha representado un 0.64% del área total, lo que sugiere una baja densidad de asentamientos humanos.

**Tabla 13** Área en hectáreas (Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal para el año 2016.

<b>Áreas Clasificadas 2016</b>		
<b>Clase</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Porcentaje %</b>
1 Tierra Herbácea	56.323	20.87
2 Tierra Arbustiva	80.724	29.92
3 Tierra Agropecuaria	2.992	1.11
4 Suelo sin Cobertura Vegetal	128.054	47.46
5 Zona Antrópica	1.728	0.64
<b>Total</b>	<b>269.821</b>	<b>100</b>

*Nota:* Áreas resultantes de los cálculos realizados mediante el software QGIS. Elaborado por el Autor.

### 13.2.2. Clasificación de la cobertura vegetal 2024

La clasificación supervisada de la cobertura vegetal correspondiente al año 2024 permitió identificar nuevamente las cinco clases principales de uso y cobertura del suelo, a partir de este análisis cartográfico se evidencio que el suelo sin cobertura vegetal ocupa una proporción considerable del territorio, especialmente en las zonas centrales extendiéndose hacia el norte y sureste del mapa. Esta clase puede estar asociada a procesos de degradación ambiental pérdida de la vegetación o prácticas de uso intensivo del suelo que impiden su generación.

La tierra herbácea mantiene una amplia distribución espacial localizándose principalmente en el suroeste, sur y sectores del oriente del territorio, esta cobertura está compuesta principalmente por pajonales y especies vegetales de porte bajo características del ecosistema del páramo, lo cual indica condiciones ambientales favorables para la conservación hídrica y la estabilidad del suelo.

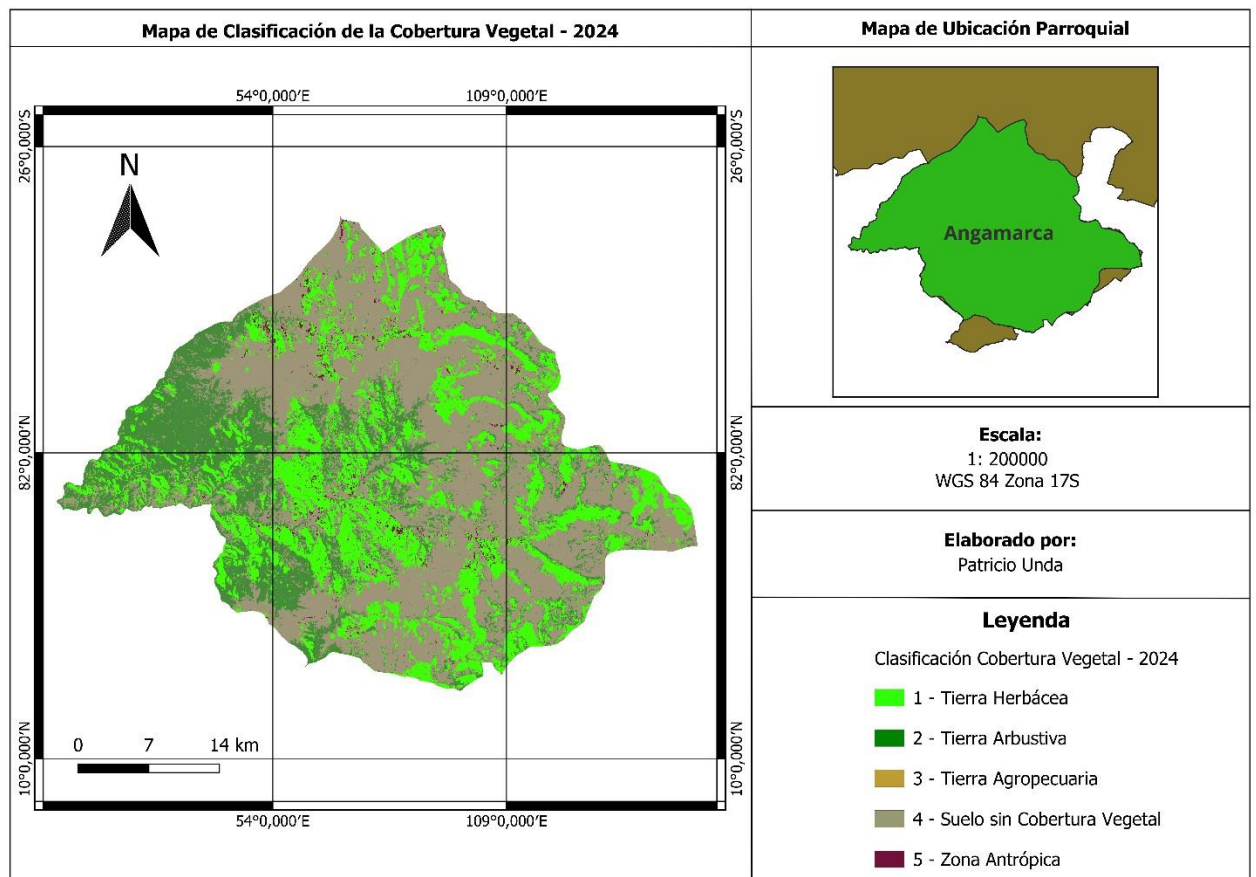
Por otra parte, la tierra arbustiva se encuentra concentrada en el sector occidental y en áreas de relieve elevado donde predomina, una vegetación densa integrada por matorrales y arbustos. Esta clase cumple con una función ecológica importante como zona de transición entre formaciones herbáceas y zonas boscosas.

La tierra agropecuaria aparece representada de forma dispersa y en menor proporción indicando sectores intervenidos por las actividades agrícolas y ganaderas, su localización responde

en general, a condiciones de accesibilidad y a la disponibilidad del suelo en zonas productivas de menor pendiente.

Finalmente, la zona antrópica se distribuye en puntos localizados del centro y en zonas orientales del mapa asociándose, a la presencia de infraestructuras, caminos y asentamientos humanos, esta clase evidencia la expansión del uso del suelo y sus implicaciones sobre la dinámica territorial.

**Figura 14** Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2024.



*Nota:* Mapa realizado mediante el uso del software QGIS. Elaborado por el Autor.

Tras completar la clasificación supervisada de la cobertura vegetal con el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 correspondiente al año 2024 de los páramos de la parroquia Angamarca, se elaboró la matriz de confusión ver Tabla 14 como parte del proceso de validación del modelo aplicado.

Los resultados obtenidos muestran una precisión global del 97% reflejando una alta concordancia entre las clases clasificadas y los datos de referencia y con un índice Kappa con un

96% lo que sugiere un nivel de precisión cercano a la perfección confirmando así la fiabilidad del proceso de la clasificación realizada.

**Tabla 14** Matriz de confusión de la clasificación de la cobertura vegetal año 2024.

Clase	1 Tierra Herbácea	2 Tierra Arbustiva	3 Tierra Agropecuaria	4 Suelo sin Cobertura Vegetal	5 Zona Antrópica	Total	Precisión	Error de Comisión
1 Tierra Herbácea	<b>47</b>	2	1	0	1	51	92	4
2 Tierra Arbustiva	1	<b>48</b>	1	0	0	50	96	2
3 Tierra Agropecuaria	0	0	<b>48</b>	0	0	48	100	0
4 Suelos sin Cobertura Vegetal	2	0	0	<b>50</b>	0	52	96	2
5 Zona Antrópica	0	0	0	0	<b>49</b>	49	100	0
<b>Total</b>	50	50	50	50	50	<b>250</b>	<b>96,80</b>	
<b>Error Omisión</b>	3	2	2	0	1			

Índice kappa	Variable	Índice	Porcentaje %
Precisión Global o concordancia	po pe	0,97	97
Proporción Esperada	k	0,2	20
índice kappa		0,96	96

*Nota:* Validación de la clasificación de la cobertura vegetal mediante la matriz de confusión.

Elaborado por el Autor.

En la tabla 15 se muestra la distribución de las áreas clasificadas en hectáreas (Ha) y sus respectivos porcentajes para cada clase de cobertura vegetal, en total el área clasificada fue de 269.821 Ha, de todas las coberturas identificadas la que ocupa mayor extensión es el suelo sin cobertura vegetal, con 136.158 Ha lo que representa un 50.46% del total, reflejando una alta proporción de zonas degradadas o con ausencia significativa de vegetación natural.

La tierra herbácea con 72.076 Ha, equivalente a un 26.71% del territorio esta categoría incluye áreas cubiertas por pajonales y vegetación baja característica de los páramos, le sigue

la tierra arbustiva con 57.074 Ha representado un 21.14% que corresponde a zonas dominadas por matorrales y arbustos, en proporciones menores se encuentra la zona antrópica con 2.765 Ha equivalente a un 1.02% correspondiente a espacios ocupados por asentamientos humanos y finalmente la tierra agropecuaria que representa 1.776 Ha equivalente a un 0.66% indicando un baja intervención agrícola o ganadera.

**Tabla 15** Área en hectáreas (Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal para el año 2024.

<b>Áreas Clasificadas 2024</b>		
<b>Clase</b>	<b>Hectáreas (Ha)</b>	<b>Porcentaje %</b>
1 Tierra Herbácea	72.076	26.71
2 Tierra Arbustiva	57.047	21.14
3 Tierra Agropecuaria	1.776	0.66
4 Suelo sin Cobertura Vegetal	136.158	50.46
5 Zona Antrópica	2.765	1.02
<b>Total</b>	<b>269.821</b>	<b>100</b>

*Nota:* Áreas resultantes de los cálculos realizados mediante el software QGIS. Elaborado por el Autor.

### 13.2.3. Comparación de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024.

En la figura 15 se presenta los mapas de la clasificación de la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca entre los años 2016 y 2024, revelando transformaciones significativas en la distribución y composición del paisaje, estos cambios detectados mediante técnicas de clasificación supervisada reflejan dinámicas ecológicas complejas influenciadas por factores tanto naturales como antrópicos.

Una de las principales transformaciones corresponde al notable incremento de la cobertura herbácea, especialmente centrada en los sectores sur y sureste del territorio este aumento puede interpretarse como un indicio de procesos de regeneración natural posiblemente, derivados del abandono de suelos los cuales tenían usos antrópicos intensivos como la ganadería extensiva. Desde un enfoque ecológico las plantas herbáceas cumplen funciones esenciales como la retención hídrica, la protección del suelo frente a la erosión y el soporte a la diversidad lo que sugiere una mejora parcial en el funcionamiento ecosistémico del páramo en el territorio (Chuncho, 2019).

No obstante, este crecimiento no debe asumirse automáticamente como positivo debido a que en algunos sectores el avance herbáceo podría estar asociado con el reemplazo de coberturas más densas y estructuralmente complejas como la vegetación arbustiva, lo que implicaría una pérdida de heterogeneidad estructural del hábitat (Vargas, 2022).

En contraparte se observó una disminución considerable de la cobertura arbustiva especialmente en el sector occidental. Áreas que en el año 2016 presentaban densos agrupamientos de arbustos fueron reemplazado por coberturas de menor densidad o en algunos casos, por superficies sin cobertura vegetal este fenómeno puede estar asociado a presiones como la tala para actividades agropecuarias, la ocurrencia de incendios forestales o las modificaciones del balance hídrico. Según Torres (2019), la pérdida de la vegetación arbustiva no solo implica una reducción en la estabilidad del suelo sino también, una menor estabilidad en refugios y alimentos para la fauna nativa.

Asimismo, se identificó una disminución en la cobertura agropecuaria la cual se presenta en el mapa cartográfico del año 2024 de una forma más reducida y fragmentada, este cambio puede deberse al abandono progresivo de las prácticas agrícolas tradicionales ya sea por la migración rural, la pérdida de la rentabilidad productiva o una transición espontánea hacia coberturas naturales. Si bien esta transformación podría representar un escenario favorable para la restauración pasiva del ecosistema su éxito dependerá, de la implementación de estrategias de manejo adecuadas.

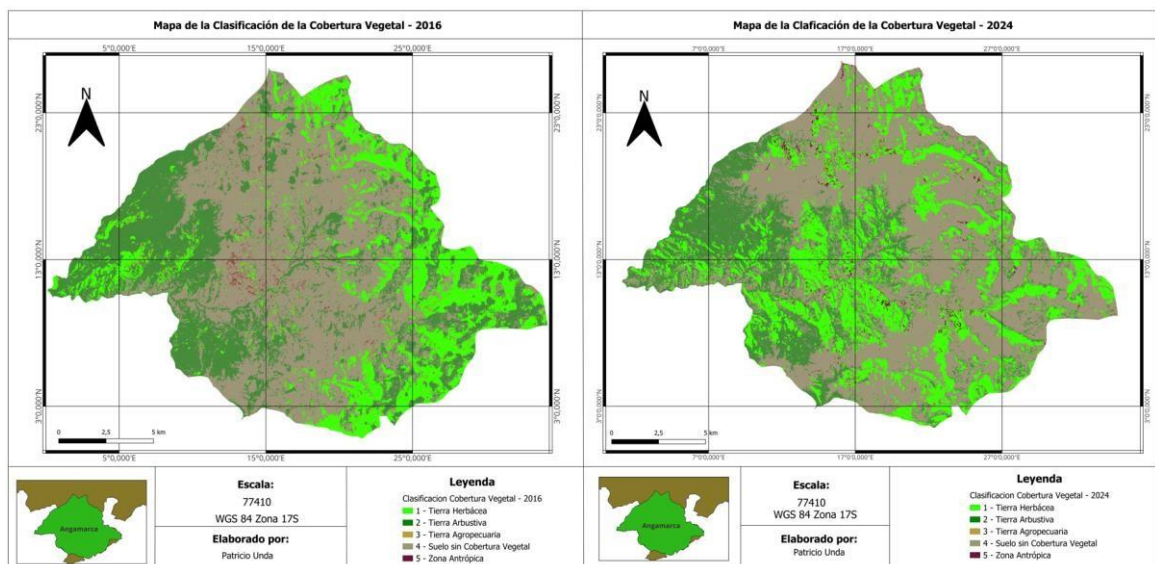
Un aspecto crítico identificado es la expansión de áreas sin cobertura vegetal lo que constituye un fuerte indicador de degradación ambiental, estas zonas donde la vegetación ha sido completamente eliminada están generalmente asociadas a la erosión del suelo, sobrepastoreo, incendios, deslizamientos o intervenciones antrópicas. De acuerdo con Paz (2022), su incremento implica una pérdida de funcionalidades ecológicas especialmente en lo que respecta a la regulación hídrica, la retención de suelo y a la estabilidad de procesos ecológicos. Además, la recuperación natural de estas áreas podría tomar décadas si no se adoptan medidas de restauración activa.

Finalmente se registra un aumento leve pero significativo en la cobertura antrópica principalmente relacionadas con el crecimiento de asentamientos humanos. Aunque estas áreas aún representan un porcentaje bajo en el territorio total su expansión genera presiones sobre los ecosistemas circundantes, aumentando la fragmentación de hábitats, el aumento de la

contaminación y la alteración de procesos ecológicos clave la urbanización, incluso en escalas reducidas compromete la integridad ecológica del páramo (Echeverry, 2021).

Los cambios en la cobertura vegetal evidencian la necesidad de una gestión ambiental integral y adaptativa, es imprescindible fortalecer los planes de manejo del páramo implementar zonificaciones ecológicas funcionales y establecer sistemas de monitoreo ambiental. La expansión de las zonas degradadas y el avance de la frontera antrópica exigen la necesidad de intervenciones técnicas inmediatas orientadas a conservar los servicios ecosistémicos, mitigar los procesos de erosión y garantizar la sostenibilidad ecológica a largo plazo.

**Figura 15** Mapas de las alteraciones en la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024.



*Nota:* Comparación de los mapas de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024.

Elaborado por el Autor.

### 13.3. Determinación de los cambios en la distribución y dinámica de las coberturas vegetales

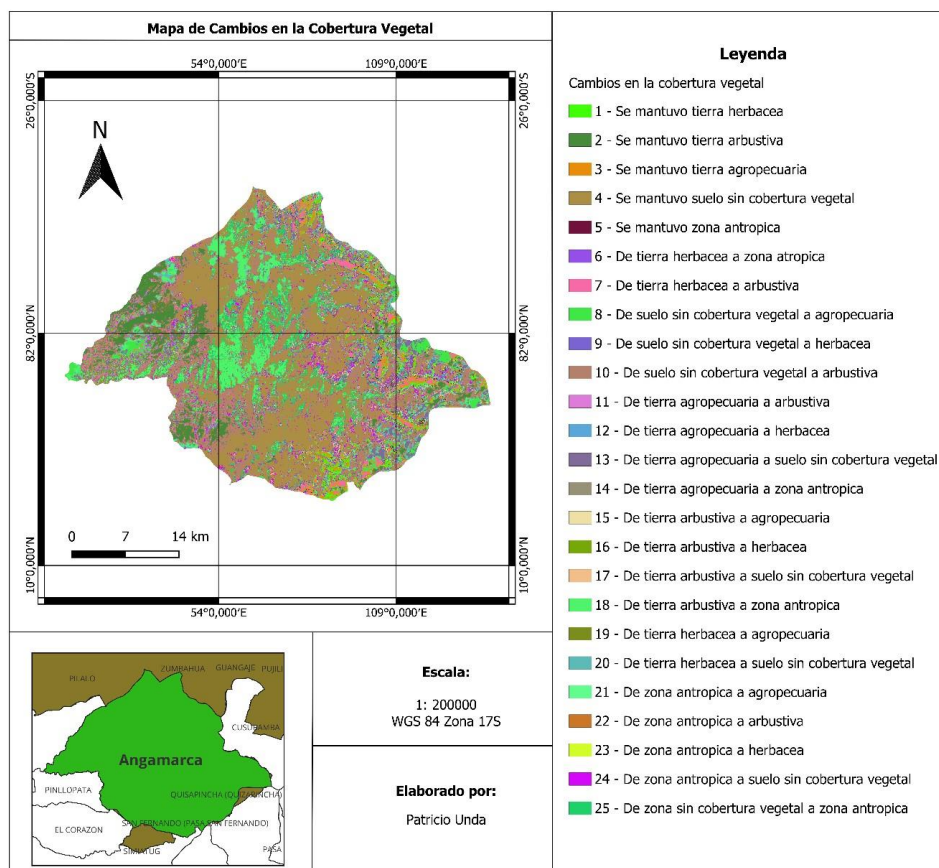
#### 13.3.1. Evaluación del cambio de la cobertura vegetal entre los años 2016 y 2024

A partir del procesamiento de las imágenes satelitales Sentinel-2 y la aplicación de un enfoque de clasificación supervisada se llevó a cabo, una evaluación espacial y temporal del comportamiento de la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca, correspondiente al periodo de estudio comprendido entre los años 2016 y 2024. Este análisis permitió detectar transformaciones significativas en el uso y en la cobertura del suelo mediante, la generación de un mapa de transición el cual constituye una representación cartográfica de los cambios ocurridos entre las distintas clases de cobertura.

En el mapa de transición se identificó veinticinco tipos distintos de cambio producto de las combinaciones entre las cinco categorías principales, cada transición registrada representa una alteración en el territorio reflejando procesos tanto de degradación ambiental como de regeneración ecológica.

El resultado cartográfico generado ofrece una visión integral de las dinámicas territoriales facilitando la interpretación de tendencias de cambio en el paisaje, así como la identificación de sectores críticos donde la presión antrópica ha modificado sustancialmente las funcionalidades ecológicas del páramo. En este sentido los resultados obtenidos permiten no solo caracterizar cuantitativamente al cambio en el uso del suelo sino también, apoyar en la toma de decisiones en la planificación territorial, manejo ambiental y restauración ecológica, mediante la identificación de zonas prioritarias para la investigación.

**Figura 16** *Mapa de cambio de la cobertura vegetal 2016 - 2024.*



*Nota:* Cambios generados en la cobertura vegetal mediante el uso del software QGIS.

Elaborado por el Autor.



	<b>vegetal</b>	herbácea	arbustiva	agropecuaria	cobertura vegetal	(Pi+)		
<b>Año 2016</b>	Tierra herbácea	<b>31.330,51</b>	24.004	4.900	11.272	336	71.842	40.511
	Tierra arbustiva	7.636,50	<b>36.193,81</b>	2.183	14.507	183	60.703	24.509
	Tierra agropecuaria	3.155	3.476	<b>294,1</b>	4.161	103	11.190	10.896
	Suelo sin cobertura vegetal	18.033	25.398	1.877,5	<b>60.899</b>	3.121	109.329	48.430
	Zona antrópica	5.049	5.537	718,0	4.962	<b>491,3</b>	16.757	16.266
Suma total F2(P+j)	65.203,91	94.608,81	9.972,4	9.5800,92	4.234,6	<b>269.821</b>		
Ganancia (Gj)	33873,4	58.415	9.678	34.902	3.743,3			
Cambio total (Ct)	74385	82.924	20.574	83.331	20.009			
Cambio neto (Cn)	-6638	33.906	-1.217	-1.3528	-12.522			

*Nota:* Cambios generados entre las coberturas vegetales. Elaborado por el Autor.

### **13.3.2. Porcentaje y su dinámica de cambio de la cobertura vegetal de los páramos de la parroquia Angamarca.**

Con el propósito de cuantificar la magnitud de las transformaciones del paisaje se realizó un análisis porcentual de los cambios ocurridos entre las diferentes clases de cobertura de la parroquia Angamarca, este análisis permitió identificar no solo las áreas que experimentaron transiciones entre tipos de vegetación sino también, aquellas que se mantuvieron sin variaciones reflejando cierto grado de estabilidad ecológica.



Con el objetivo de identificar las transformaciones ocurridas en la cobertura vegetal en la parroquia Angamarca entre los años 2016 y 2024, se realizó un análisis comparativo entre las superficies ocupadas por cada tipo de cobertura vegetal en ambos periodos, como se observa en la Tabla 18. Para ello, se calculó la diferencia en hectáreas y porcentajes entre las áreas registradas al inicio y las observaciones al final del estudio lo cual, permitió determinar tanto las pérdidas como los incrementos por cada clase de cobertura.

Los resultados evidencian que la tierra herbácea experimentó un incremento significativo pasando del 20.87% al 26.71% del total del área, lo que representa una ganancia del 5.84%, este aumento sugiere procesos de recuperación o expansión de esta cobertura posiblemente, relacionadas con el abandono de actividades productivas o con procesos de regeneración natural.

En contraste la tierra arbustiva redujo su presencia en un 8.78%, descendiendo del 29.92% al 21.14%, esta disminución se atribuye a cambios en el uso del suelo o a intervenciones antrópicas directas. De igual manera la tierra agropecuaria presentó una reducción al pasar del 1.11% al 0.66%, equivalente a una pérdida del 0.45%, lo cual podría estar vinculada a una reducción de las actividades agrícolas en las zonas de alta montaña.

Por su parte el suelo sin cobertura vegetal aumentó su proporción en un 3% elevándose del 47.46% al 50.46%, lo que evidencia un proceso de degradación ambiental progresivo. Finalmente, la zona antrópica, aunque representa una fracción de menor territorialidad pasó de ocupar el 0,64% al 1,02%, este incremento, aunque leve refleja un proceso de crecimiento urbano lento pero constante.

**Tabla 18** *Cambios de las coberturas vegetales generados entre los años 2016 y 2024.*

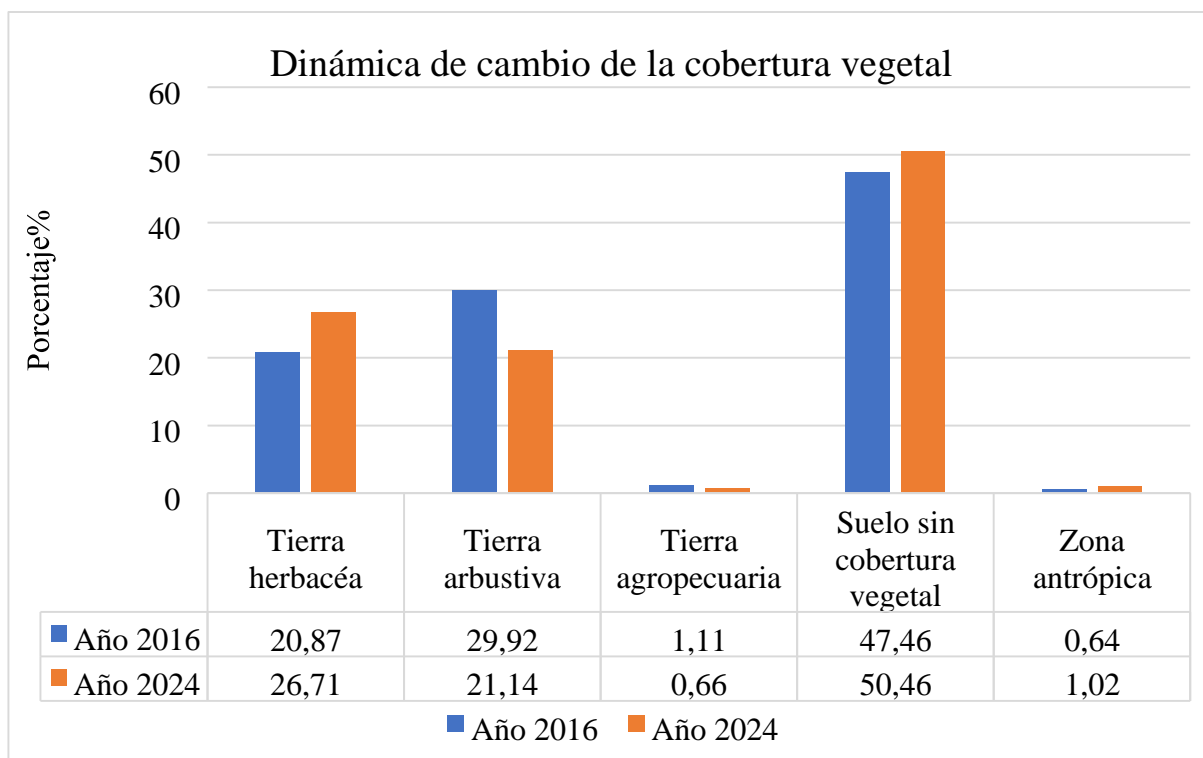
<b>Dinámica de cambio de la cobertura vegetal 2016 - 2024</b>						
Clase	Área (Ha) 2016	%	Área (Ha) 2024	%	Cambio Ha	%
1 Tierra herbácea	56.323	<b>20.87</b>	72.076	<b>26.71</b>	15.753	<b>5.84</b>
2 Tierra arbustiva	80.724	<b>29.92</b>	57.047	<b>21.14</b>	-23.677	- <b>8.78</b>
3 Tierra agropecuaria	2.992	<b>1.11</b>	1.776	<b>0.66</b>	-1.216	- <b>0.45</b>
4 Suelo sin cobertura vegetal	128.054	<b>47.46</b>	136.158	<b>50.46</b>	8.104	<b>3.00</b>

5 Zona antrópica	1.728	<b>0.64</b>	2.765	<b>1.02</b>	1.037	<b>0.38</b>
Total	269.821	100	269.821	100		

*Nota:* Datos calculados para determinar las tasas de cambio de la cobertura vegetal. Elaborado por el Autor.

En la Figura 18 se presenta la representación visual de los cambios en la cobertura vegetal de la parroquia Angamarca, considerando tanto las disminuciones como los aumentos en las categorías establecidas para los años de estudio 2016 y 2024, esta visualización permite evidenciar de forma clara los cambios en la cobertura vegetal diferenciando las pérdidas y ganancias registradas durante el periodo de estudio.

**Figura 18** Cambio de la cobertura vegetal ganancias y pérdidas.



*Nota:* Identificación de los cambios de la cobertura vegetal correspondiente al período de estudio. Elaborado por el Autor.

La evaluación multitemporal se la realizó mediante la metodología CORINE Land Cover, permitiendo identificar cinco clases de cobertura vegetal. Los resultados evidencian que el 43.5% del territorio presentó algún tipo de cambio mientras que el 56.5% se mantuvo sin alteraciones, reflejando un equilibrio parcial entre las áreas intervenidas y conservadas.

Uno de los cambios más relevantes fue el aumento del suelo sin cobertura vegetal que pasó del 47.46% en el 2016 al 50.46% en 2024, este incremento del 3% sugiere una pérdida progresiva de la vegetación posiblemente asociada a procesos de sobrepastoreo, incendios, quema de los pajonales y expansión de cultivos. Esta categoría representa áreas degradadas donde los procesos erosivos se han intensificado y la capacidad de la retención hídrica del suelo se ha reducido notablemente. Según Cervantes (2022), la pérdida de la vegetación en zonas altoandinas compromete seriamente los servicios ecosistémicos especialmente los relacionados con la regulación hídrica y climática, lo que podría derivar en una disminución crítica de la disponibilidad del agua para las comunidades locales.

Por otra parte, la cobertura herbácea aumentó del 20.87% al 26.71%, este incremento se interpreta como una recuperación de la vegetación debido al abandono de tierras agrícolas o ganaderas. Sin embargo, en muchos de los casos se trata de especies introducidas o forrajeras como la cebada, el centeno y el garbanzo las cuales no cumplen con las mismas funciones ecológicas que la vegetación nativa. De acuerdo con Romo (2021), el cual realizó un estudio sobre la degradación de la vegetación de páramo por efecto de la ganadería en el Parque Nacional Llanganate, Ecuador. La presencia predominante de gramíneas amacolladas potencial para el pastoreo desplaza a especies nativas, reduciendo la riqueza florística, el pisoteo constante compacta el suelo favoreciendo así la erosión, acelerando la pérdida de la biodiversidad.

En contraste la cobertura arbustiva se redujo considerablemente pasando del 29.92% en el 2016 a 21.14%, en el 2024 esta disminución se atribuye al avance de la frontera agrícola, al reemplazo de arbustos por cultivos de ciclo corto o a la quema de este tipo de vegetación. Según Díaz (2024), advierte que la pérdida de la cobertura arbustiva compromete el equilibrio ecológico y aumenta la vulnerabilidad del ecosistema frente a eventos climáticos extremos, debido a que esta vegetación cumple funciones esenciales en la protección contra la erosión del suelo y en la creación de microclimas.

La tierra agropecuaria experimentó una leve disminución del 1.11% al 0.66% posiblemente por el abandono o transformación, de estas tierras hacia otros tipos de coberturas no obstante esta variación no implica una mejora ecológica ya que el reemplazo, pudo haber ocurrido por zonas antrópicas o degradadas. Tobar (2022) sostiene, que en diversos casos la

reducción del área cultivada responde a procesos de urbanización informal o a la expansión de actividades no agrícolas que también generan impactos ambientales.

Los cambios observados están estrechamente vinculados con causas antrópicas las zonas donde aumentó el suelo sin cobertura vegetal coinciden específicamente, con sectores utilizados para la ganadería extensiva lo cual indica una presión directa del uso del suelo. Las transformaciones en la cobertura también responden al reemplazo de la vegetación por prácticas agrícolas inadecuadas, la quema de la cobertura vegetal, así como la expansión de la frontera agrícola hacia zonas más altas donde se evidencia una tendencia histórica de ocupación por falta de tierras fértiles. Según Weiss (2021), destaca que este fenómeno común en los Andes, ha contribuido significativamente a la pérdida de la vegetación nativa y a la fragmentación del ecosistema.

La pérdida de la cobertura vegetal también tiene implicaciones directas sobre el recurso hídrico. De acuerdo con León (2021), la mayor parte de las fuentes de agua provienen de las zonas del páramo. La reducción de la vegetación en estas áreas disminuye la capacidad del suelo para infiltrar el agua y mantener los caudales estables lo que incrementa, la escasez estacional y la vulnerabilidad frente a sequías. En este contexto, la conservación de la cobertura vegetal es esencial para la regulación hídrica.

El cambio climático también constituye otra causa natural de transformación el aumento de la temperatura, la alteración de las precipitaciones y el aumento de eventos climáticos extremos afectan la dinámica natural del páramo. Uribe (2015), advierte que el estrés climático reduce la regeneración de especies nativas y facilita la expansión de especies invasoras, lo que altera la composición del ecosistema reduciendo su diversidad funcional y la capacidad de adaptación.

Los resultados obtenidos en el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la parroquia Angamarca, coincide con lo evidenciado por Suárez (2017), quien documentó una transformación acelerada de la cobertura vegetal en los páramos sur del Ecuador principalmente, por el avance de la frontera agrícola, la sustitución de la vegetación nativa por pastos introducidos y la expansión de actividades agropecuarias. Este patrón es comparable con lo observado entre los años 2016 y 2024 donde también se identificaron pérdidas significativas de la cobertura arbustiva y el aumento del suelo sin cobertura vegetal, lo que evidencia una tendencia regional de degradación del ecosistema páramo bajo una presión antrópica.

De igual manera Bustamante (2016), señala que desde 1979 la vegetación natural en zonas altoandinas ha disminuido más del 15% debido a la expansión de la frontera agrícola y al aumento de construcciones sin una adecuada planificación ambiental. La zona antrópica, aunque solo pasó del 0.64% al 1.02%, representa un riesgo considerable para la ecología y la funcionalidad de los ecosistemas por la fragmentación del hábitat.

De acuerdo con Sánchez (2019), advierte que el suelo sin cobertura vegetal representa una condición crítica del ecosistema, debido a que su expansión conlleva una pérdida de fertilidad, erosión acelerada y una reducción de la productividad agrícola. Estas zonas degradadas por las actividades humanas intensas o por eventos climáticos extremos requieren una intervención urgente mediante, planes de restauración, el manejo de cuencas para proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados.

En síntesis, aunque existen lineamientos para la conservación y el uso racional del suelo su implementación ha sido limitada por lo que se subraya, la necesidad de actualizar y fortalecer estas políticas, resaltando que la articulación entre gobiernos locales, organizaciones y comunidades es esencial para avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible.

## **14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **14.1. Conclusiones**

- La corrección atmosférica y la combinación de las bandas espectrales de las imágenes satelitales Sentinel-2 correspondiente a los años 2016 y 2024 permitió estandarizar los datos para un análisis multitemporal confiables. Al eliminar interferencias atmosféricas, se mejoró la calidad radiométrica de las imágenes facilitando así comparaciones precisas entre ambos periodos, la selección y combinación adecuada de las bandas espectrales permitió resaltar características clave de la cobertura vegetal y uso del suelo. Este procesamiento es esencial para garantizar la consistencia en la interpretación de datos en los cambios de la cobertura vegetal.
- La clasificación de la cobertura vegetal mediante el uso de técnicas de clasificación supervisadas en el software QGIS y bajo la leyenda del MAATE Nivel I, permitió obtener mapas temáticos precisos y estandarizados. La aplicación del complemento SCP facilitó el procesamiento eficiente de las imágenes satelitales, la selección adecuada de las muestras de entrenamiento fue clave para diferenciar con claridad los distintos tipos de cobertura. En el año 2016 se clasificó 56.323 Ha de cobertura herbácea, 80.724 Ha de

cobertura arbustiva, 2.992 Ha de cobertura agropecuaria, 128.054 Ha de suelo sin cobertura vegetal y 1.728 Ha de zona antrópica. Para el año 2024, se registraron 72.076 Ha de cobertura herbácea, 57.047 Ha de arbustiva, 1.776 Ha de agropecuaria, 136.158 Ha de suelo sin cobertura vegetal y 2.765 Ha de cosa antrópica. La validación mediante la matriz de confusión e índice kappa garantizó la confiabilidad de los resultados. Los mapas generados constituyen herramientas esenciales para el análisis territorial así, se fortalece las bases técnicas para la planificación y conservación del ecosistema páramo.

- El análisis mediante la elaboración de la matriz de transición y la tasa de cambio evidenció transformaciones significativas en la cobertura vegetal de la parroquia Angamarca entre 2016 y 2024. La cobertura herbácea aumentó del 20.87% al 26.71%, mientras que la arbustiva disminuyó del 29.92% al 21.14%, la zona agropecuaria presentó una leve disminución de 1.11% a 0.67%, el suelo sin cobertura vegetal se incrementó del 47.46% al 50.46%, reflejando una creciente degradación del ecosistema. La zona antrópica también mostró un leve aumento del 0.64% al 1.02%. Estos cambios indican una pérdida de la vegetación nativa y la expansión de áreas degradadas, los resultados son fundamentales para orientar acciones de restauración ecológica y la planificación territorial.

## 14.2. Recomendaciones

- La selección de imágenes satelitales como las de Sentinel-2 con menos del 20% de nubosidad fue clave para garantizar la calidad de las imágenes. Se recomienda a investigadores y técnicos ambientales que todo análisis multitemporal inicie con una revisión exhaustiva de las condiciones atmosféricas de las imágenes a utilizarse. Además, se debe aplicar siempre correcciones radiométricas y atmosféricas mediante el uso de herramientas como el SCP para obtener reflectancias del terreno, omitirlo puede inducir a errores en la clasificación especialmente en zonas de alta nubosidad como los páramos.
- Se recomienda a investigadores e instituciones públicas continuar con el uso de técnicas de clasificación supervisada en QGIS junto con el complemento SCP, debido a su efectividad en la generación de mapas temáticos precisos. Es importante mantener el uso de la leyenda oficial del MAATE Nivel I para asegurar la estandarización de los diferentes tipos de cobertura vegetal, se sugiere fortalecer la capacitación en la selección de muestras de entrenamiento ya que influye directamente en la calidad del análisis. La

validación constata mediante la matriz de confusión e índice kappa debe mantenerse como criterio obligatorio de precisión.

- Se recomienda al GAD parroquial priorizar acciones de restauración ecológica en las zonas donde se evidenció una pérdida significativa de la cobertura arbustiva y un incremento del suelo sin cobertura vegetal. Es fundamental implementar políticas locales que frenen la expansión de áreas degradadas, especialmente en los sectores más vulnerables del ecosistema. Además, se sugiere promover prácticas agroecológicas que minimicen el impacto sobre la cobertura nativa, la participación comunitaria en procesos de monitoreo y conservación debe ser incentivada. Es clave realizar evaluaciones multitemporales periódicas que permitan dar seguimiento a los cambios detectados.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. B. (2021). Qué son los ARBUSTOS, sus características, tipos y ejemplos - Resumen. *ecologiaverde.com*. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-los-arbustos-3178.html>
- AEMA. (2018). *Cobertura terrestre CORINE 2018 (vector/ráster 100 m), Europa, 6 años*. Copernicus.Eu. [https://land.copernicus.eu/en/products/corine-landcover/clc2018?tab=download%20\(CLC\)](https://land.copernicus.eu/en/products/corine-landcover/clc2018?tab=download%20(CLC))
- Aguilar, H. (2014). *METODOLOGÍA PARA LA CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 CON EL MÓDULO FLAASH DEL SOFTWARE ENVI*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744544002.pdf>
- Alonso, D. (2024). *QGIS Sentinel Hub: descarga de imágenes satélite*. Mappinggis.com. <https://mappinggis.com/2024/09/como-descargar-imagenes-sentinel-con-qgis/>
- Ávila, E. (2017). *El Efecto de la Cobertura del Suelo en la Variación de las Temperaturas Locales; Naranjo, Alajuela, Costa Rica, 2016*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/journal/4517/451755941007/html/#:~:text=Cultivos%20sin%20sombra:%20zonas%20en,de%20plantas%20herb%C3%A1ceas%20y%20arbustos.>

- Bettinger, P. (2023). 8 - *Procesamiento de datos geográficos: datos ráster*. Sciencedirect.com. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323905190000091>
- Bezerra, V. (2024). DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL A LA VULNERABILIDAD ECOLÓGICA: TRANSICIÓN DE PARADIGMAS. *Veredas do Direito Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*. <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2698-esp>
- Biscaia, J. (2024). *Quantum GIS QGIS*. Icao.int. [https://www.icao.int/SAM/Documents/2024-RLA06901-DDS\\_AIM/QuantumGIS.pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2024-RLA06901-DDS_AIM/QuantumGIS.pdf)
- Bustamante, T. (2016). *Historia de la conservación ambiental en Ecuador*. Edu.ec. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57175.pdf>
- Calderón, J. (2019). *LA PRESIÓN ANTRÓPICA Y SUS CONSECUENCIAS EN EL PÁRAMO DEL CANTÓN GUAMOTE PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Edu.ec. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/11dbd376-4655-43ea-b470ecf295ede6c2/content>
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenibl. *Anales de la Facultad de Medicina*, 372, 77–92. <https://doi.org/10.29166/ANALES.V1I372.1241>
- Cara, L. (2018). *Desarrollo de una plataforma web para el procesamiento digital de imágenes satelitales enfocada al estudio del hidroclima*. Researchgate.net. [https://www.researchgate.net/publication/329539148\\_Desarrollo\\_de\\_una\\_plataforma\\_web\\_para\\_el\\_procesamiento\\_digital\\_de\\_imagenes\\_satelitales\\_enfocada\\_al\\_estudio\\_d\\_el\\_hidroclima](https://www.researchgate.net/publication/329539148_Desarrollo_de_una_plataforma_web_para_el_procesamiento_digital_de_imagenes_satelitales_enfocada_al_estudio_d_el_hidroclima)
- Carmona, A. (2024). *Que es gis*. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/que-esgis/15499148>
- Cervantes, R. (2022). CONTRIBUCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS ALTOANDINOS EN LA PROVISIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE REGULACIÓN HÍDRICA. *Ecología aplicada*, 20(2), 137–146. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1804>
- Chuncho, G. (2019). *Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión*.

Researchgate.net.

[https://www.researchgate.net/publication/344180955\\_Paramos\\_del\\_Ecuador\\_importancia\\_y\\_afectaciones\\_Una\\_revision](https://www.researchgate.net/publication/344180955_Paramos_del_Ecuador_importancia_y_afectaciones_Una_revision)

Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental*. Com.ec.  
<https://books.google.com.ec/books?id=aKsNXCVtCtQC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

CONAE. (2025). *Guía de Interpretación Visual de Imágenes Satelitales*. Gob.ar.  
[https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia\\_de\\_interpretacion\\_visual\\_de\\_imagenes\\_satelitales.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/guia_de_interpretacion_visual_de_imagenes_satelitales.pdf)

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of open source software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

Congedo, L. (2024). *Semi-automatic classification plugin — QGIS python plugins repository*. Qgis.org. <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/>

Corte, D. (2024). From environmental vulnerability to ecological vulnerability: The paradigm transition. *Veredas do Direito Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, 21, e212698. <https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2698>

Culqui, C. (2022). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ILLANGAMA*. Unirioja.es. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8928721.pdf>

Diaz, B. (2024). *Estado actual de la cobertura arbórea de Ecuador y sus regiones naturales. Oportunidades para mejorar los programas de conservación*. Edu.ec.  
<https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/1032/905>

Echeverry, J. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92(0), 923449. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>

- Enríquez, J. (2021). Importancia de los sensores remotos en la exploración geológica petrolera. *Petroenergía*. <https://www.petroenergia.info/post/importancia-de-los-sensores-remotos-en-la-exploraci%C3%B3n-geol%C3%B3gica-petrolera>
- FAO. (2016). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015*. Fao.org. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/06583da1-dc1d-4fcc-8cb5-39bc7aec1059/content>
- FAO. (2018). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Condiciones climáticas y la actividad humana impactan en la degradación de la tierra, comprometiendo la seguridad alimentaria*. Fao.org. <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1141396/>
- FAO. (2022). *¿Qué es un ecosistema?* Fao.org. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1611441/>
- FAO. (2025). *Cobertura vegetal del suelo*. Fao.org. <https://www.fao.org/conservationagriculture/in-practice/soil-organic-cover/es/>
- FAO. (2025). *Definiciones Clave*. Fao.org. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fiveable. (2024). *Cartographic method - (AP human geography) - vocab, definition, explanations*. Fiveable.Me. <https://library.fiveable.me/key-terms/ap-hug/cartographicmethod>
- Fonseca, J. (2025). *ANÁLISIS MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT CASO DE ESTUDIO: CAMBIO DE ÁREA LADERAS DE LA CIÉNAGA DE TUMARADÓ PARQUE NATURAL LOS KATÍOS*. Core.ac.uk. <https://core.ac.uk/download/pdf/143448063.pdf>
- Francois, M. (2003). Una evaluación cuantitativa de los errores en el monitoreo de los cambios de cobertura por comparación de mapas. *Investigaciones Geográficas*, 51, 73–87. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56905106>
- FSC. (2024). *Conservar los ecosistemas de Ecuador*. Fsc.org.

<https://fsc.org/es/newscentre/cuentos/conservar-los-ecosistemas-de-ecuador#:~:text=En%20esta%20zona%20se%20encuentra,para%20la%20retenci%C3%B3n%20de%20agua.>

GAD ANGAMARCA. (2011). *Situación Geográfica de la Parroquia Angamarca*. Página Oficial del GAD Angamarca; GAD Parroquial de Angamarca. <https://angamarca.gob.ec/cotopaxi/situacion-geografica-2/>

GEATIC. (2023). *Sensores remotos* – Geatic. Geatic.com. <https://www.geatic.com/sensoresremotos/>

Guamán, P., Basante, C., & Mármol, J. L. (2023). Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos: Advantages of the application of vegetation cover in agroecological crops. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1032>

Gutiérrez, M. (2015). *Vista de Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México*. Unam.mx. <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/48600/46996>

Herrera, S. (2022). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Provincial*. Pazydesarrollo.org. <https://www.pazydesarrollo.org/wp-content/uploads/2022/02/6.-PDYOT-2021-2025.pdf>

INEC. (2017). *Matriz de Transición Laboral – Documento Metodológico*. Gob.ec. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/EMPLEO/2017/Matrices\\_de\\_transicion/Documento%20Metodologico%20MTL.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/EMPLEO/2017/Matrices_de_transicion/Documento%20Metodologico%20MTL.pdf)

Instituto Geográfico Nacional. (2024). *Teledetección*. Ign.es. <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

- Jiménez, A. (2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 82, 175–195. <https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- León, F. (2021). *CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PARROQUIA ANGAMARCA, DE CONFORMIDAD AL MARCO NORMATIVO VIGENTE*. Gob.ec. <https://angamarca.gob.ec/cotopaxi/wpcontent/uploads/2021/03/PDOT-ANGAMARCA-min.pdf>
- Luján, M. (2019). *ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN Y COBERTURA HERBACEA SITIO CASA SOBRE EL ARROYO*. Edu.ar. <https://librosfaud.mdp.edu.ar/EbooksFaud/catalog/download/patrimonio%2007/51/53-2-1?inline=1>
- MADS. (2021). *BIOVIDERSIDAD Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN AMBIENTAL*. Gov.co. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/BIODIVERSIDAD\\_Y\\_SERVICIOS\\_ECOSISTEMICOS\\_EN\\_LA\\_PLANIFICACION\\_Y\\_GESTION\\_AMBIENTAL\\_URBANA.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/BIODIVERSIDAD_Y_SERVICIOS_ECOSISTEMICOS_EN_LA_PLANIFICACION_Y_GESTION_AMBIENTAL_URBANA.pdf)
- MAE. (2018). *Programa regional Abe Ecuador*. Edu.ec. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57848.pdf>
- MAGAP. (2015). *MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA*. Gob.ec. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Mapa-de-Cobertua-yuso-de-la-Tierra.pdf>
- Mejía, V. (2021). *Cambio de COBERTURA de suelo en la Amazonía*. Edu.ec. [https://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/UVERDAD/078/articulo01/uazuay.cambio\\_de\\_cobertura\\_de\\_suelo\\_en\\_la\\_amazonia\\_norte\\_del\\_ecuador.html](https://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/UVERDAD/078/articulo01/uazuay.cambio_de_cobertura_de_suelo_en_la_amazonia_norte_del_ecuador.html)
- Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. (2024). *Instituto Geográfico Nacional*. Geoportal oficial del Instituto Geográfico Nacional de España. <https://www.ign.es/web/copernicus/presentacion>

- MITECO. (2024). *Copernicus*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europeamedio-ambiente-informacion-ambiental/copernicus.html>
- MITMA. (2018). *El programa Copernicus aplicado a la producción y gestión de la información geoespacial*. Ign.es. [https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa\\_Marco\\_Copernicus\\_User\\_Uptake/3\\_componente\\_espacio\\_Copernicus.pdf](https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/actividades/OBS/Programa_Marco_Copernicus_User_Uptake/3_componente_espacio_Copernicus.pdf)
- Morales, J. (2022). *Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo generado por actividades agrícolas en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, México*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/journal/416/41674605055/html/>
- Murel, J. (2024). ¿Qué es una matriz de confusión? *Ibm.com*. <https://www.ibm.com/eses/think/topics/confusion-matrix>
- NASA. (2023). *Fundamentos de la Teledetección (Percepción Remota)*. Nasa.gov. [https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-02/Fundamentals\\_of\\_RS\\_Span.pdf](https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2023-02/Fundamentals_of_RS_Span.pdf)
- Neill, A. (2017). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. Edu.ec. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14232/1/Cap.4-Investigaci%C3%B3n%20cuantitativa%20y%20cualitativa.pdf>
- Olmos, P. (2018). *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Geoinnova.org. <https://geoinnova.org/wp-content/uploads/2018/08/Sistemas-de-Informaci%C3%B3nGeogr%C3%A1fica-SIG-T%C3%A9cnicas-b%C3%A1sicas-para-estudios-debiodiversidad.pdf>
- Pabón, E. (2022). *Análisis de los procesos de cambio de uso y cobertura del suelo en la microcuenca del río Tabacay*. Edu.ec. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8687/1/T3801-MCCSD-Pabon-Analisis.pdf>

- Paz, A. (2022). *Áreas de gran biodiversidad en los Andes tropicales no están bien representadas en las áreas protegidas*. Mongabay.com.  
<https://es.mongabay.com/2022/10/areas-de-gran-biodiversidad-en-los-andestropicales-no-estan-bien-representadas-en-las-areas-protegidas/>
- Pino, N. (2017). *Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca*. Edu.ec.  
<https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/download/75/69/159>
- Ramadhi, A. (2021). *Satellite data sensor - Almi ramadhi*. Medium.  
<https://medium.com/@almiramadhi/satellite-data-sensor-d0b0d0db7a8c>
- Reyes, C. (2015). *Captura de carbono en suelos de páramo Línea base a partir de escenarios de intervención*. Edu.co. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/4002/1/2835.pdf>
- Román, F. (2025). *Fundamentos de la teledetección*. Www.um.es.  
[https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario\\_10.pdf](https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf)
- Romo, M. (2021). *Degradación de la vegetación de páramo por efecto de la ganadería en el Parque Nacional Llanganates, Ecuador*. Unirioja.es.  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8436809.pdf>
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*.  
<https://www.esup.edu.pe/wpcontent/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Sánchez, Jeanette. (2019). *70 años de pensamiento de la CEPAL*. Cepal.org.  
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016b753fdd3b659/content>
- Sánchez, José. (2016). *Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión*. Unirioja.es. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5998855.pdf>
- Sarría, F. (2024). *Sistemas de Información Geográfica*. Www.um.es.  
<https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>

- SENPLADES. (2022). *Estándares de información geográfica requisitos mínimos de información marginal para cartografía temática*. Gob.ec. [https://iedg.sni.gob.ec/wpcontent/uploads/2022/06/Estandares\\_de\\_informacion\\_geografica\\_cap3.pdf](https://iedg.sni.gob.ec/wpcontent/uploads/2022/06/Estandares_de_informacion_geografica_cap3.pdf)
- Sotelo, Y. (2022). *Evaluación de métodos de clasificación supervisada para la estimación de cambios espacio-temporales de cobertura en los páramos de Merchán y Telecom, Cordillera Oriental de Colombia*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/journal/3496/349672084002/html/>
- Suárez, E. (2017). Influencia de los tipos de vegetación y la cubierta de tierra en la capacidad de infiltración del agua en el suelo en un ecosistema de páramo de gran altitud. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v5i1.117>
- Tarakanov, V. (2024). *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* IAEA. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-laerosion-del-suelo>
- Tobar, X. (2022). *Impacto de la expansión urbana sobre tierras productivas y sus repercusiones en la producción agrícola*. Edu.ec. <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8621/1/T3777-MRI-Rengifo-Impacto.pdf>
- Torres, P. (2019). *Efecto del cambio de la cobertura vegetal y del uso de la tierra sobre la cantidad y calidad de materia orgánica del suelo en ecosistemas alto-andinos de Ecuador* [Ediciones Universidad de Salamanca]. <https://doi.org/10.14201/gredos.140319>
- Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/df277d47-47a1-4466-84a4-82ee62adad54/content>
- Vargas, O. (2022). *La restauración ecológica en los páramos*. Researchgate.net. [https://www.researchgate.net/publication/358088015\\_La\\_restauracion\\_ecologica\\_en\\_los\\_paramos](https://www.researchgate.net/publication/358088015_La_restauracion_ecologica_en_los_paramos)

- Velásquez, B. (2014). *La biodiversidad en el Ecuador*. Edu.ec.  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La%20Biodiversidad.pdf>
- Weiss, S. (2021). *En los Andes ecuatorianos, los protectores de los páramos resguardan su fuente de agua*. Mongabay.com. <https://es.mongabay.com/2021/02/en-los-andesecuadorianos-los-protectores-de-los-paramos-resguardan-su-fuente-de-agua/>
- Zambrano, L. (2018). *Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático*.  
Researchgate.net.  
[https://www.researchgate.net/publication/326071371\\_Analisis\\_Multitemporal\\_de\\_los\\_cambios\\_de\\_la\\_vegetacion\\_en\\_la\\_Reserva\\_de\\_Produccion\\_de\\_Fauna\\_Chimborazo\\_como\\_consecuencia\\_del\\_cambio\\_climatico](https://www.researchgate.net/publication/326071371_Analisis_Multitemporal_de_los_cambios_de_la_vegetacion_en_la_Reserva_de_Produccion_de_Fauna_Chimborazo_como_consecuencia_del_cambio_climatico)