



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERA AMBIENTAL

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS EN LA
COBERTURA VEGETAL EN PARROQUIA MACHACHI,
PROVINCIA DE PICHINCHA 1990 - 2020.**

AUTORA

OÑA ALVEAR MABEL DEL ROCIO

TUTOR

ING. ORTEGA ORDOÑEZ CARLOS FRANCISCO, MSc.

**GUAYAQUIL, ECUADOR
2026**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL EN PARROQUIA MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA 1990 - 2020**, realizado por el (la) estudiante **OÑA ALVEAR MABEL DEL ROCIO**; con cédula de identidad N°0955059480 de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, Facultad De Ciencias Agrarias, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Ortega Ordoñez Carlos Francisco, MSc.

Guayaquil, 26 de febrero del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL EN PARROQUIA MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA 1990 - 2020”**, realizado por la estudiante **OÑA ALVEAR MABEL DEL ROCIO**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Blgo. Jaime Santos Pinargote
PRESIDENTE

Blgo. Raúl Arízaga Gamboa
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Juan Guevara Vinza
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Carlos Ortega Ordoñez
EXAMINADOR SUPLENTE

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres y hermano, quienes, a pesar de las altas y bajas, siempre han estado para mí, apoyándome para culminar mis estudios. Son mi más grande inspiración y la razón por la que hoy he llegado hasta aquí. Los amo con todo mi corazón.

También se lo dedico a mi familia, a quienes han estado más cerca de mí. Mi abuela es parte fundamental de este logro, y me alegra infinitamente poder contar con mis dos abuelas para que sean testigos de una meta más alcanzada en mi vida.

No ha sido un camino fácil; hubo noches largas entre proyectos, tareas y desvelos. Por lo que dedico también a mi perrita Pocha, que siempre estuvo a mi lado hasta que terminara mis trabajos. Su compañía y cariño han sido parte de todo este proceso.

- Oña Alvear Mabel Del Rocío.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al creador del cielo y la tierra, quien siempre me dio fuerzas para continuar, mostrándome que su tiempo es perfecto. Cada vez que sentía que no podía, Él me daba la fortaleza para seguir adelante.

Le doy gracias por esta carrera que llegó a mi vida, permitiéndome aprender, crecer y formarme. Gracias también por haber puesto en mi camino a los amigos que hicieron de este recorrido algo más bonito, por los profesores con sus enseñanzas, y por la guía de mi tutor, quien fue parte fundamental de este proceso.

Al final de todo, agradezco por acompañarme en cada paso que doy. A mi familia, quienes son mi motivación para continuar y la razón por la que hoy he logrado ser quien soy.

- Oña Alvear Mabel Del Rocio.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **OÑA ALVEAR MABEL DEL ROCIO**, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL EN PARROQUIA MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA 1990 - 2020”** para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 26 de febrero del 2026.

OÑA ALVEAR MABEL DEL ROCIO

C.I. 0955059480

RESUMEN

La presente investigación analizó los cambios en la cobertura vegetal en la parroquia Machachi, provincia de Pichincha, durante el período 1990–2020. Los objetivos planteados se enfocaron en caracterizar las condiciones biofísicas y socioeconómicas del territorio, así como cuantificar las transformaciones espaciales mediante un análisis multitemporal y la elaboración de una zonificación ecológica-ambiental basada en las variables analizadas. La metodología tuvo un enfoque descriptivo, utilizando información cartográfica histórica y documental recopilada para el diseño de mapas temáticos. Los mapas emplearon capas oficiales de cobertura y uso del suelo correspondientes a 1990, 2000 y 2020, empleando los límites administrativos parroquiales. El procesamiento se realizó en QGIS, donde se aplicaron procesos de reclasificación y matrices de cambio para determinar el área transformada. También se integraron capas relacionadas con pendientes, clases agrológicas, áreas protegidas, asentamientos humanos y zonas de riesgo. La zonificación ecológica-ambiental se desarrolló mediante una metodología adaptada por el autor, sustentada en la integración de variables biofísicas. Los resultados evidenciaron una pérdida aproximada del 35.12% de la cobertura vegetal original entre 1990 y 2020. Se identificó una conversión relevante de páramos y pastizales hacia áreas agropecuarias y urbanas. Este hallazgo confirma la hipótesis planteada, al superar la reducción estimada del 20%, y evidencia una presión antrópica sostenida sobre ecosistemas estratégicos. Finalmente, la zonificación permitió definir siete categorías de uso del territorio, constituyéndose en un instrumento técnico para orientar la planificación territorial y promover un equilibrio entre conservación ambiental y desarrollo socioeconómico.

Palabras clave: *Análisis multitemporal, Machachi, Matriz de cambio, Medio biofísico, socioeconómico, Zonificación ecológica-ambiental.*

ABSTRACT

This research analyzed changes in vegetation cover in Machachi parish, Pichincha province, during the period 1990–2020. The study aimed to characterize the biophysical and socio-economic conditions of the territory, quantify spatial transformations through multitemporal analysis, and develop an ecological-environmental zoning proposal based on the evaluated variables. A descriptive methodological approach was applied, supported by the compilation of historical and documentary cartographic information for thematic map development. Official land cover and land use layers for 1990, 2000, and 2020 were used, considering the parish administrative boundaries. Data processing was conducted in QGIS, where reclassification procedures and change matrices were applied to determine the extent of land cover transformation. Additional thematic layers, including slope, agrological classes, protected areas, human settlements, and risk zones, were integrated into the analysis. The ecological-environmental zoning was developed using a methodology adapted by the author, based on the integration of biophysical variables. Results showed an approximate 35.12% loss of original vegetation cover between 1990 and 2020. A significant conversion of páramo and grassland areas into agricultural and urban land was identified. These findings confirm the proposed hypothesis, as the reduction exceeded the estimated 20%, and demonstrate sustained anthropogenic pressure on strategic and environmentally fragile ecosystems. The resulting zoning defined seven land-use categories and serves as a technical tool to support territorial planning and promote a balance between environmental conservation and socio-economic development.

Keywords: *Biophysical environment, Change matrix, Ecological-environmental zoning, Machachi, Multitemporal analysis, Socio-economic conditions.*

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes del problema.....	1
1.2. Planteamiento y formulación del problema	2
1.2.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Justificación de la investigación	3
1.4. Delimitación de la investigación	3
1.5. Objetivo general.....	4
1.6. Objetivos específicos.....	4
1.7. Hipótesis o idea para defender	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Estado del arte.....	5
2.2. Bases científicas y teóricas de la temática.....	7
2.2.1. Cobertura vegetal.	7
2.2.2. Uso del suelo.	7
2.2.3. Fragilidad del paisaje.....	8
2.2.4. Cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo.	8
2.2.5. Sistemas de información geográfica (SIG).....	8
2.2.6. Uso de imágenes satelitales.....	8
2.2.7. Análisis multitemporal.....	9
2.2.8. Zonificación ecológica-ambiental	9
2.2.9. Tipos de paramos en el Ecuador	11
2.3. Marco legal	12
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador.	12
2.3.2. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)	15
2.3.3. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA)	15
2.3.4. Plan Nacional de Desarrollo 2021–2025.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Enfoque de la Investigación	17
3.1.1. Tipo y alcance de investigación.	17

3.1.2. <i>Diseño de Investigación.</i>	17
3.2. Metodología	17
3.2.1. <i>Variables.</i>	17
3.2.2. <i>Matriz de operacionalización de variables</i>	18
3.2.3. <i>Recolección de datos.</i>	19
3.2.4. <i>Población y muestra</i>	24
3.2.5. <i>Análisis estadístico</i>	24
4. RESULTADOS	25
4.1. Caracterización de las condiciones biofísicas y socioeconómicas de la parroquia Machachi, mediante la recopilación de información secundaria para comprender los factores que influyen en la dinámica de la cobertura vegetal.25	
4.1.1. <i>Características del medio biofísico.</i>	26
4.1.2. <i>Características socioeconómicas</i>	31
4.2. Análisis de los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal durante el periodo 1990–2020, a través del procesamiento de imágenes satelitales, con el fin de cuantificar las áreas de cambios identificadas.	34
4.2.1. <i>Detección de cambios de la cobertura y uso de suelo</i>	40
4.3. Realización de una zonificación ecológica-ambiental mediante el procesamiento de las variables biofísicas obtenidas, que sirva como base para definir estrategias de desarrollo territorial.	44
5. DISCUSIÓN	50
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
6.1. Conclusiones	53
6.2. Recomendaciones	54
7. BIBLIOGRAFÍA	55
8. ANEXOS	61
9. APÉNDICES	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variable dependiente.....	18
Tabla 2. Variable independiente	19
Tabla 3. Metadato de coberturas y uso de suelo	21
Tabla 4. Capas de zonificación.....	22
Tabla 5. Características del medio físico de la parroquia Machachi.....	28
Tabla 6. Flora y Fauna de la parroquia Machachi	31
Tabla 7. Metadatos de las coberturas socioeconómicas 1990-2020	32
Tabla 8. Metadatos de las coberturas y uso de suelo (1990-2020)	34
Tabla 9. Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990	36
Tabla 10. Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2000	38
Tabla 11. Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2020	39
Tabla 12. Áreas sin cambios de cobertura en la parroquia Machachi 1990-2000	41
Tabla 13. Áreas sin cambios de cobertura en la parroquia Machachi 2000-2020	42
Tabla 14. Áreas sin cambios de cobertura en la parroquia Machachi 1990-2020	43
Tabla 15. Cambios detectados en la cobertura entre 1990-2020	43
Tabla 16. Zonas de vida de la parroquia Machachi	44
Tabla 17. Áreas protegidas y no protegidas de la parroquia Machachi	46
Tabla 18. Clases agrológicas según el uso potencial de suelo de la parroquia Machachi	46
Tabla 19. Niveles de susceptibilidad a la erosión de la parroquia Machachi.....	47
Tabla 20. Priorización de zonas ambientales-ecológicas de la parroquia Machachi	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Matriz de cambio de la cobertura vegetal	21
Figura 2. Procesamiento de insumos cartográficos	25
Figura 3. Mapa de delimitación de la parroquia Machachi	26
Figura 4. Mapa de variables climatológicas, hidrográficas y geológicas	27
Figura 5. Mapa de variables de suelo y geomorfología	29
Figura 6. Mapa del sistema de áreas naturales protegidas	30
Figura 7. Procesamiento de las capas de cobertura y uso de suelo	35

Figura 8. Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990	36
Figura 9. Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2000	37
Figura 10. Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2020	39
Figura 11. Reclasificación de variables biofísicas	45
Figura 12. Zonificación ecológica-ambiental de la parroquia Machachi	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Diagrama de Zonas de Vida (Holdridge)	61
Anexo N° 2: Leyenda temática de la cobertura vegetal.....	61
Anexo N° 3: Cambio de cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990-2000	62
Anexo N° 4: Cambio de cobertura vegetal 1990-2000	64
Anexo N° 5: Cambio de cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2000-2020	64
Anexo N° 6: Cambio de cobertura vegetal 2000-2020	66
Anexo N° 7: Cambio de cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990-2020	67
Anexo N° 8: Cambio de cobertura 1990-2020	68

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice N° 1:	69
-----------------------------	----

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes del problema

El análisis multitemporal es una técnica que permite evaluar los cambios en la superficie terrestre en una determinada área a lo largo del tiempo. Este método consiste en la comparación de imágenes satelitales de diferentes periodos, lo cual permite detectar patrones y tendencias en el uso y cobertura del suelo. A través de esta herramienta se identifican variaciones significativas en la vegetación, con el fin de evaluar la dinámica del uso del suelo y su distribución. Estos cambios pueden estar relacionados con amenazas a la sanidad vegetal, tales como la propagación de enfermedades, presencia de plagas, degradación del suelo, el cambio climático u otros factores ambientales (Durand, 2006).

La relación entre las funciones del suelo y su uso se ha visto afectada por el crecimiento poblacional y el aumento de las demandas sociales, lo cual ha intensificado la presión sobre los recursos naturales. Este fenómeno ha impactado directamente en los servicios y funciones ecosistémicas, siendo el ser humano el principal agente de conversión y modificación de la cobertura del suelo (Bustamante et al., 2011). Por esta razón, comprender estas dinámicas a través de este tipo de análisis resulta esencial para la toma de decisiones informadas en la gestión territorial y ambiental, permitiendo así promover prácticas sostenibles que favorezcan la salud del entorno vegetal en la zona de estudio.

Además, diversos estudios en América Latina, realizados en países como México, Colombia, Argentina y Brasil, han evidenciado la importancia de monitorear el uso del suelo y la cobertura vegetal, especialmente en zonas periurbanas con alta actividad agrícola y urbanización. Estas investigaciones han permitido comprender mejor los cambios en la cobertura terrestre y sus implicaciones en la calidad de vida de las personas y el medio ambiente. En Ecuador, aunque se han llevado a cabo investigaciones sobre la cobertura vegetal en distintas regiones, aún se requiere profundizar en el análisis de zonas periurbanas con alta presión agrícola (Durand, 2006).

Asimismo, Cruz y Muñoz (2016) llevaron a cabo un análisis multitemporal de la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo en la zona de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros, en el municipio de Popayán, Cauca. Utilizando la clasificación supervisada de imágenes satelitales,

demonstraron un incremento significativo de la cobertura boscosa en los márgenes de ríos y quebradas, lo cual evidenció la efectividad del programa de reforestación.

Por otro lado, Conde y Marulanda (2016) llevaron a cabo un análisis multitemporal de la cobertura del suelo utilizando metodologías VCS y Corine Land Cover. El estudio se centró en determinar la viabilidad de predios con vocación de protección, con el objetivo de clasificarlos como proyectos REDD bajo la metodología VCS. Se resaltó la eficacia del uso de software libre en proyectos de gran envergadura, subrayando la importancia de esta herramienta en la gestión exitosa de proyectos ambientales.

1.2. Planteamiento y formulación del problema

1.2.1. Planteamiento del problema

La cobertura vegetal es un componente esencial de los ecosistemas, pues regula el clima, protege el suelo contra la erosión, conserva la biodiversidad y funciona como un sumidero natural de carbono. Sin embargo, en la parroquia Machachi, este recurso ha sufrido cambios significativos en las últimas décadas, principalmente debido a actividades humanas como la expansión agrícola, la ganadería, la urbanización y el cambio en el uso del suelo. Estas transformaciones han generado impactos ambientales negativos, incluyendo la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y la alteración de procesos ecológicos fundamentales (Hofstede y Llambí, 2020).

El páramo, ecosistema predominante en esta región, es uno de los ambientes con mayor irradiación solar a nivel mundial y posee una flora extremadamente rica y diversa, superior a la de otros ecosistemas montañosos del planeta. Sin embargo, existe una gran brecha de conocimiento respecto a los efectos reales que las transformaciones de la cobertura vegetal han producido en este ecosistema y en las comunidades que dependen de él.

Aunque estudios previos han utilizado análisis multitemporal para identificar cambios en la cobertura vegetal a través de imágenes satelitales, estos enfoques no han sido aplicados suficientemente en la parroquia Machachi (Carrillo et al., 2019). La falta de estudios multitemporales detallados en esta área en específico limita la planificación territorial y el diseño de estrategias efectivas para la conservación ambiental y el manejo sostenible del territorio.

Por tanto, resultó imprescindible realizar un análisis multitemporal de los cambios en la cobertura vegetal de la parroquia Machachi durante el periodo 1990-

2020, con el fin de identificar las principales dinámicas de transformación, comprender sus causas y evaluar las consecuencias ambientales. Esta información es fundamental para apoyar la gestión ambiental y desarrollo sostenible en la zona.

1.2.2. Formulación del problema

¿Qué cantidad de cobertura vegetal se ha perdido por actividades antropogénicas en la Parroquia Machachi, durante el período 1990-2020?

1.3. Justificación de la investigación

La investigación multitemporal permitió generar información espacial precisa sobre la cobertura vegetal y el uso del suelo en la parroquia Machachi, para los años 1990, 2000 y 2020. Este estudio fue fundamental para comprender la dinámica ecosistémica que experimentó la región, así como para identificar las actividades y eventos que influyeron en la transformación del paisaje natural durante las últimas tres décadas.

El análisis se enfocó particularmente en el ecosistema de páramo, un ambiente de alta biodiversidad y sensibilidad ecológica, donde el crecimiento urbano y otras actividades antrópicas provocaron cambios significativos en la cobertura vegetal. Estos cambios repercutieron directamente en los servicios ecosistémicos esenciales que provee, tales como la regulación climática, la conservación del suelo y la biodiversidad de la parroquia Machachi.

Esta investigación no solo busca sensibilizar a la comunidad y a los gestores territoriales sobre la importancia de conservar este ecosistema, sino que también se realizó con el fin de aportar insumos técnicos y científicos para la formulación de estrategias de planificación y conservación ambiental a largo plazo. En este sentido, el estudio se constituyó en un aporte fundamental para la toma de decisiones que permitan un desarrollo territorial sostenible, garantizando la protección del páramo y la calidad de vida de las comunidades locales.

1.4. Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se desarrolló en la parroquia Machachi, perteneciente al cantón Mejía, en la provincia de Pichincha, considerando su delimitación administrativa para el análisis espacial correspondiente al período 1990–2020.

- **Tiempo:** El estudio fue ejecutado en un período de cinco meses, durante los cuales se llevó a cabo la recopilación, procesamiento y análisis de la información.
- **Población:** La parroquia Machachi cuenta con una población aproximada de 108 167 habitantes, según los registros oficiales disponibles (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2020).

1.5. Objetivo general

Evaluar los cambios en la cobertura vegetal en la parroquia Machachi de la provincia de Pichincha entre los años 1990 y 2020, mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales, llevando a cabo una cuantificación de las transformaciones espaciales ocurridas durante dicho periodo.

1.6. Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones biofísicas y socioeconómicas de la parroquia Machachi, mediante la recopilación de información secundaria para la comprensión de los factores que influyen en la dinámica de la cobertura.
- Analizar los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal durante el periodo 1990–2020, a través del procesamiento de imágenes satelitales, cuantificando las áreas de cambios identificadas.
- Realizar una zonificación ecológica-ambiental mediante el procesamiento de las variables biofísicas obtenidas, que sirva como base en la definición de estrategias de desarrollo territorial.

1.7. Hipótesis o idea para defender

La cobertura vegetal en la parroquia Machachi se redujo en al menos un 20% en el año 2020 en comparación con el año 1990.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

En el contexto ecuatoriano, Hofstede et al. (2023) señala que el país cuenta con 1.52 millones de hectáreas de páramo, cifra superior a la reportada hace dos décadas (1.29 millones de hectáreas), diferencia que se atribuye a una nueva interpretación y clasificación de imágenes satelitales más que a un incremento real del área. La metodología del estudio se basó en una recopilación exhaustiva de información científica, técnica y cartográfica disponible, consolidando aportes de múltiples investigaciones y análisis previos, lo que permitió actualizar y contextualizar el estado actual de los ecosistemas de páramo en Ecuador.

Hofstede et al. (2002), cuantificaron la superficie de los tipos de páramo en el Ecuador y evaluaron su estado de conservación mediante imágenes satelitales y una evaluación ecológica rápida en páramos de pajonal. Concluyen que más del 75% del área original de páramo está modificada, que existen alrededor de 800.000 ha transformadas o degradadas, y que los pocos páramos en buen estado se ubican principalmente en el flanco amazónico y en zonas extremas del país.

Por otra parte, el Proyecto Páramo Andino, compilado en la obra de Cuesta et al. (2014), constituye un referente fundamental para la gestión y conservación de ecosistemas de alta montaña, ya que advierte que una parte significativa de estos ecosistemas ya se encuentra transformada en otros usos o ha desaparecido, impulsando el desarrollo de estudios para su protección. Esto fortalece la gestión del páramo mediante el análisis de biodiversidad, suelo y agua. La metodología se basó en revisión documental, investigaciones de campo y trabajo interdisciplinario con comunidades e instituciones de cuatro países andinos, generando evidencia y herramientas técnicas útiles para la planificación y conservación ambiental.

A nivel nacional, se encontraron estudios que abordaron directamente la caracterización de coberturas vegetales en ecosistemas de páramo como el estudio realizado por Naranjo y Parra (2024), quienes analizaron los cambios de cobertura vegetal en el páramo de Quimsacocha (1998–2024) mediante imágenes Landsat, clasificación supervisada y NDVI, identificando una leve mejora de la vegetación, reducción del bosque nativo y herbazal inundable, y aumento del herbazal de páramo. De forma similar, Quevedo et al. (2023) evaluaron la cobertura vegetal en la Reserva Ecológica Antisana (1990–2020) mediante un análisis multitemporal desarrollado bajo una metodología descriptiva–comparativa, cuyo

objetivo fue identificar los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo a lo largo de tres décadas. Sus resultados evidenciaron una disminución significativa de bosques nativos y glaciares, así como un incremento de la vegetación de páramo, áreas arbustivas y zonas sin cobertura vegetal, lo que refleja una transformación importante del paisaje con posibles implicaciones ambientales. Ambos estudios, coinciden en que el análisis multitemporal y el uso de SIG son herramientas clave para comprender la dinámica de estos ecosistemas y sustentar decisiones de conservación y ordenamiento territorial.

En la provincia de Cotopaxi, Ramírez (2023) analizó los cambios de uso del suelo en ecosistemas de páramo en la comunidad Salamalag Chico entre 2014 y 2022, utilizando la metodología Corine Land Cover adaptada en el Ecuador considerando el protocolo y lineamientos establecidos por el MAATE, MAG y Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo para la clasificación de la cobertura vegetal y uso de la tierra del Ecuador Continental, para lo cual se trabajó con imágenes satelitales Landsat 8, constatando una reducción del páramo por el avance de cultivos agrícolas, seguida de una recuperación parcial asociada a prácticas de manejo comunitario. Mientras que Herrera y Herrera (2022) estudiaron la dinámica de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi con imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 entre 2008 y 2020, identificando seis tipos de cobertura y cuantificando sus variaciones mediante análisis multitemporal en QGIS, estimando una disminución de páramos y glaciares y un incremento de zonas forestales, pastizales y vegetación arbustiva/herbácea. Ambos estudios, desarrollados en territorios altoandinos ecológicamente vinculados con Machachi, permiten comprender cómo la presión antrópica y los procesos de restauración influyen en la transformación de la cobertura vegetal, aportando un marco referencial para interpretar cambios similares en el paisaje de la parroquia.

Inicialmente Grijalva y Otálvaro (2019) realizaron una zonificación ecológica en el cantón Pimampiro (Ecuador), considerando variables abióticas, bióticas y socioeconómicas. A partir de análisis multitemporal de imágenes satelitales y cartografía temática, identificaron degradación de recursos naturales y definieron zonas de manejo ambiental con propuestas de gestión territorial. Por otra parte, Acosta y Paladines (2024) desarrollaron una zonificación ecológica en el municipio de Páez (Cauca, Colombia) como herramienta para ordenamiento territorial y conservación ambiental. Mediante SIG, integraron datos biofísicos, cobertura del

suelo, áreas protegidas, páramos, humedales y vocación de uso, aplicando análisis multicriterio y modelado de aptitud para delimitar áreas de importancia ecológica y proponer usos según su fragilidad. Evidenciando que la zonificación ecológica es herramienta clave para planificar el territorio y garantizar sostenibilidad de ecosistemas frágiles como los de montaña.

El análisis de variables biofísicas se ha consolidado como base técnica para la planificación territorial. En este marco, Arroba (2023) analizó la pérdida de cobertura de manglar en Puerto Sabana Grande entre 2007 y 2022 mediante clasificación supervisada, NDVI y SAVI, evidenciando una reducción del 8.88 % debido a la expansión camaronera. Con estos resultados se propusieron medidas de manejo ambiental, demostrando cómo la información espacial y multitemporal puede sustentar decisiones de ordenamiento territorial.

De forma complementaria, Cayambe y Simancas (2020) aplicaron SIG e imágenes satelitales en la cuenca alta del río Jubones para generar mapas y evaluar el estado de la vegetación con NDVI, identificando áreas conservadas y zonas degradadas prioritarias para intervención. Además, evaluaron la gestión hídrica mediante una matriz de conformidad, proponiendo planes estratégicos para garantizar la sostenibilidad del ecosistema. Ambos estudios evidencian que la integración de variables biofísicas y su representación espacial es esencial como base para la formulación de estrategias de desarrollo territorial.

Así, estos estudios permitieron construir un marco referencial robusto que orientó al planteamiento del problema y metodología de la presente investigación, contribuyendo a un entendimiento integral de los procesos de transformación del ecosistema de páramo y sus implicaciones ecológicas y sociales.

2.2. Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1. Cobertura vegetal.

Según el MAG (2020), hace referencia a la descripción de la capa de vegetación que cubre la superficie terrestre, incluyendo la flora silvestre que se define como el conjunto de especies nativas que de forma espontánea crecen.

2.2.2. Uso del suelo.

De acuerdo con el MAG (2020), este dato se refiere al empleo que el ser humano les da a los diferentes tipos de coberturas, ya sea de forma cíclica o de manera permanente para satisfacer sus necesidades.

2.2.3. Fragilidad del paisaje.

Hace referencia a la consideración del escenario donde existe la probabilidad de que un paisaje se deteriore a causa de las intervenciones humanas, es decir “susceptibilidad” de un paisaje al cambio, cuando se desarrolla un uso o actuación sobre él por parte del ser humano (Vallina, 2017).

2.2.4. Cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo.

Se considera el principal factor de amenaza a la biodiversidad en el mundo, puesto que la agricultura y ganadería junto con el crecimiento urbano e infraestructural impulsan este cambio, provocando deforestación y fragmentación de los ecosistemas. Esto reduce el tamaño de población de muchas especies, aumentando el riesgo de extinción y degradando el ambiente al alterar las propiedades del suelo y las condiciones naturales, dificultando la regeneración de la vegetación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2024).

En el caso de Ecuador, uno de los países con mayor biodiversidad del planeta y espacios naturales existentes, su biodiversidad no se limita al número de especies por unidad de área, también incluye los distintos tipos de ambientes naturales o diferentes ecosistemas que existen. Por eso es importante destacar que su biodiversidad está constantemente amenazada por los cambios producidos con los pasos de los años, entre ellos encontramos la expansión de actividades industriales en las zonas naturales del país, como es la industria petrolera, minera, avícola, las plantaciones forestales y la urbanización acelerada (Bravo, 2015).

2.2.5. Sistemas de información geográfica (SIG)

Los SIG tienen la capacidad de gestionar datos provenientes de diversas fuentes, permitiendo el acceso, modificación y estructuración de manera efectiva. Además, posibilitan la explotación de estos datos para diversos propósitos, como la creación de mapas de alta calidad y la generación de información adaptada a las necesidades de analistas especializados o para su uso en servicios de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la web (CEUPE, 2014).

2.2.6. Uso de imágenes satelitales.

Según el MAATE (2012), corresponde a los procedimientos o técnicas empleadas para tratar y analizar imágenes proporcionadas por satélites artificiales, las cuales pueden provenir desde diferentes satélites y por tanto requieren de diferentes tratamientos antes de su uso. Lo cual, en la actualidad es posible debido

a la mejora continua de la calidad de los sensores satelitales, que permiten una mejor resolución e investigación de nuevos fines científicos.

2.2.7. Análisis multitemporal.

El análisis multitemporal es el proceso de comparar digitalmente dos o más imágenes satelitales de una misma zona tomadas en distintas fechas, con características técnicas similares, para identificar cambios en la superficie terrestre. Esta técnica permite detectar variaciones en la cobertura vegetal y el uso del suelo a lo largo del tiempo (Chapa et al., 2008).

2.2.8. Zonificación ecológica-ambiental

Es la acción de asignar usos, funciones, potenciales, valores u objetivos a diferentes partes o fracciones del territorio delimitables con el propósito de establecer zonas homogéneas en los aspectos biofísicos que determinan los procesos ecológicos. Evalúa aspectos tales como: valor biológico-ecológico, valor productivo, peligros vulnerabilidad y la degradación ambiental. Tomando en cuenta a las condiciones sociales, con el fin de determinar necesidades materiales y así evaluar su capacidad de desarrollo y posible adaptación al cambio.

Consiste básicamente en la espacialización de fenómenos que caracterizan un área, la delimitación de unidades o áreas con rasgos particulares, y la obtención de una visión conjunta de fenómenos y espacios geográficos que determinan la organización territorial. Por lo que es una herramienta muy valiosa para la planificación y uso racional de los recursos naturales (Grijalva y Otálvaro, 2019).

2.2.8.1. Capacidad de uso de suelo

En términos físicos, es el soporte que tiene una unidad de tierra de ser utilizada para usos o coberturas y/o tratamientos específicos. Generalmente se basa en el principio de la máxima intensidad de uso soportable sin causar deterioro físico del suelo. Cualidad que presenta una determinada área de terreno para permitir el establecimiento de un número fijo de tipos alternativos de utilización agrícola de la tierra (Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE], 2013).

2.2.8.2. Uso potencial del suelo

Un concepto más próximo sería aquel que cuenta a la producción agrícola como un indicador que abarca las condiciones ambientales que caracterizan el terreno y los tipos de utilización agrícola, pecuarios y forestales que muestran la posibilidad de ser establecidos en él, así como el grado en que los requerimientos

técnicos y biológicos de cada tipo de utilización pueden satisfacer por el conjunto de condiciones ambientales del terreno (Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE], 2013).

2.2.8.3. Aptitudes agrológicas

Según el IEE (2013), la aptitud de uso de suelo se refiere a la capacidad que tiene para su aprovechamiento bajo una categoría o tipo de utilización, desde el punto de la producción agropecuaria y/o forestal, en condiciones naturales.

2.2.8.4. Formación geológica

En base con lo descrito por el Instituto Espacial Ecuatoriano (2013), en su memoria técnica de geoinformación la define como una unidad litoestratigráfica que define cuerpos de rocas caracterizadas por poseer propiedades litológicas, denominado también como tipo de roca y depósito superficial.

2.2.8.5. Pendiente.

Hace referencia al grado de inclinación de las vertientes con relación a la horizontal, cuya unidad de medida se encuentra expresada en porcentaje. Por ejemplo, se considera como Plana a partir de 0 a 2%; Muy suave de 2 a 5%; Suave de 5 a 12%; Media de 12 a 25%; Media a fuerte de 25 a 40%; Fuerte de 40 a 70%; Muy fuerte de 70 a 100% (Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE], 2013).

2.2.8.6. Humedad.

La determinación del clima está ligada no solamente a factores atmosféricos, sino también a la geografía física del lugar, como la cordillera de Los Andes que influye en la humedad puesto que esta depende del ascenso y enfriamiento del aire proveniente de la Costa y de la región Amazónica, proceso que provoca tantos las precipitaciones como las sequías de un área (Dávila et al., 2018)

2.2.8.7. Áreas protegidas

Según lo descrito por Dudley (2008), son áreas que son reconocidas como un espacio geográfico definido, dedicado y gestionado, con medios legales u otros medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza, de los servicios ecosistémicos y los valores culturales asociados.

2.2.8.8. Susceptibilidad a la erosión

La erosión es el arrastre de los materiales sólidos de la superficie del suelo. Se provoca de forma natural a través del tiempo por acción del aire, agua, nieve o hielo, de manera lenta lo que permite el equilibrio entre la pérdida y la formación del suelo. Sin embargo, la intervención humana con actividades agrícolas y de infraestructura promueven el rápido arrastre de las partículas sólidas de la

superficie del suelo acelerando considerablemente el proceso erosivo con una intensidad que varía de unos escenarios a otros. La intensidad y forma de la erosión dependen de la inclinación y longitud de la pendiente, la intensidad y frecuencia de las lluvias, de la velocidad del viento, de las características del suelo, de la cobertura vegetal y del uso y manejo del suelo (Espinosa et al., 2022).

2.2.8.9. Zonas de vida

Las zonas de vida hacen referencia a áreas o secciones con comunidades de plantas y animales con características similares. En el caso del sistema propuesto por Leslie Holdridge, que determina las zonas de vida o formaciones vegetales, las zonas biogeográficas se clasifican según los efectos biológicos de la isothermas e isoyetas en la vegetación, suponiendo que estos dos factores abióticos son los principales determinantes del tipo de vegetación que se encuentra en una zona. Es decir, que emplea 4 ejes fundamentales: biotemperatura, precipitación, piso altitudinal y región latitudinal, para determinar 30 provincias de humedad, que son claramente visibles en el diagrama de Holdridge (Grijalva y Otálvaro, 2019).

2.2.8.10. Páramo

Los páramos se encuentran en la Cordillera de los Andes en zonas extremadamente altas existiendo variación de acuerdo con el lugar, no todas las montañas son de la misma magnitud dando como resultado la variación de su estructura. Los páramos en la Cordillera de los Andes son ecosistemas de montaña que se desarrolla sobre bosques andinos y alcanzan alturas de 2 500 hasta más de 3 000 msnm, con gran humedad. Debido a su ubicación en la zona ecuatorial, el clima es frío todo el año y su suelo volcánico suele ser muy fértil. La gran mayoría de páramos se encuentran en Colombia (42,48%) y Ecuador (37%) (Herrera, 2013).

El suelo de los páramos es considerado uno de los más jóvenes debido a que según varios estudios demuestran que su formación inicio hace 10 000 años atrás. Esta concepción se considera precisa debido a que este tipo de ecosistema de alta montaña tiene su formación de en base a cenizas volcánicas, por lo tanto, en la época de la glaciación no pudo haberse originado (Simbaña, 2016).

2.2.9. Tipos de paramos en el Ecuador

De los páramos ecuatorianos de la cordillera de los Andes, el Ecuador posee una extensión aproximada de 12 500 km² albergando distintos ecosistemas que constituyen parte fundamental de su territorio, encontrando principalmente a lo largo de la cordillera, volcanes, nevados, valles, entre otras coberturas. Una parte

representativa del país son los páramos, con una altura promedio de 3 300 m.s.n.m. y cobertura del 7% de su territorio con una extensión de 1 250 000 ha, por lo que proveen servicios ecosistémicos como: recursos hídricos de calidad y sumideros de carbono principalmente (Chuncho-C. y Chuncho-G., 2019).

2.2.9.1. Pajonales.

La paja es un símbolo andino y se le ha dado muchos usos a lo largo de los años, incluido el de los entechados de las casas del espacio o localidades rurales; a la vez, es parte del páramo que cobija con calidez y calor, sin perder identidad (Iñigo et al., 2010). En el Ecuador, los páramos de pajonal cubren alrededor del 70% de la extensión del ecosistema nacional por lo que se encuentran en todas las provincias del país, distribuyéndose entre altitudes de 3000 m. La calidad de “natural” de este tipo de páramo, es el más típico, considerado como un reservorio natural de agua, utilizado por localidades cercanas (Gallo et al., 2014).

2.2.9.2. Bosque altoandino.

Este corresponde a formaciones forestales naturales ubicadas en el piso altitudinal superior de los Andes tropicales, generalmente entre los 2.800 y 3.500 m s. n. m., caracterizadas por temperaturas bajas, alta humedad, frecuentes neblinas y una estructura vegetal dominada por árboles de porte medio a bajo, con abundante presencia de epífitas, musgos y líquenes (Hofstede y otros, 2003).

2.3. Marco legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador.

Sección segunda.

Ambiente sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.14).

Capítulo cuarto.

Derechos de las comunidades, pueblos y nacionalidades.

Art. 57.- Se reconoce y garantizará a las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, de conformidad con la Constitución y con los pactos, convenios, declaraciones y demás instrumentos internacionales de derechos humanos, los siguientes derechos colectivos:

6. Participar en el uso, usufructo, administración y conservación de los recursos naturales renovables que se hallen en sus tierras.

8. Conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural. El Estado establecerá y ejecutará programas, con la participación de la comunidad, para asegurar la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad (p.28).

Capítulo séptimo.

Derechos de la naturaleza.

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (p.36).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (p.36).

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional (p.36).

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado (p.36).

Capítulo cuarto.

Régimen de competencias.

Art. 261.- El Estado central tendrá competencias exclusivas sobre:

7. Las áreas naturales protegidas y los recursos naturales.

8. El manejo de desastres naturales.

11. Los recursos energéticos; minerales, hidrocarburos, hídricos, biodiversidad y recursos forestales (p.129).

Capítulo segundo.

Biodiversidad y recursos naturales.

Sección primera, Naturaleza y ambiente.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza (p.188).

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva [...], (p.188).

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas [...]

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.

2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado.

5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad.

Art. 398.- Toda decisión o autorización estatal que pueda afectar al ambiente deberá ser consultada a la comunidad, a la cual se informará amplia y oportunamente [...], (p.189).

Sección segunda.

Biodiversidad.

Art. 400.- El Estado ejercerá la soberanía sobre la biodiversidad, cuya administración y gestión se realizará con responsabilidad intergeneracional. Se declara de interés público la conservación de la biodiversidad y todos sus componentes, en particular la biodiversidad agrícola y silvestre y el patrimonio genético del país (p.190).

Sección tercera.

Patrimonio natural y ecosistemas.

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo con el ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley (p.190).

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados;

entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros (p.191).

Sección quinta.

Suelo.

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión. En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el Estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona (p.192).

Sección sexta.

Agua.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico [...], (p.192).

2.3.2. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)

Título II. Ordenamiento Territorial

Capítulo I Definición Y Objeto

Art. 9.- Ordenamiento territorial. - El ordenamiento territorial es el proceso y resultado de organizar espacial y funcionalmente las actividades y recursos en el territorio, para viabilizar la aplicación y concreción de políticas públicas democráticas y participativas y facilitar el logro de los objetivos de desarrollo. La planificación del ordenamiento territorial constará en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados. La planificación para el ordenamiento territorial es obligatoria para todos los niveles de gobierno (p.7).

Título III. Planeamiento Del Uso Y De La Gestión Del Suelo

Capítulo I Suelo

Sección II

Aprovechamiento Del Suelo

Art. 20.- Aprovechamiento urbanístico o de suelo. El aprovechamiento urbanístico o de suelo determina las posibilidades de utilización del suelo, en términos de clasificación, uso, ocupación y edificabilidad, de acuerdo con los principios rectores definidos en esta Ley (p.9).

Art. 21.- Uso. El uso es la destinación asignada al suelo, conforme con su clasificación y subclasificación, previstas en esta Ley. Los usos serán determinados en los respectivos planes de uso y gestión de suelo y en sus instrumentos complementarios (p.9).

2.3.3. Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA)

Capítulo VI.

Monitoreo y Evaluación del Patrimonio Forestal Nacional

Art. 346.- Evaluación del Patrimonio Forestal Nacional.- La Autoridad Ambiental Nacional realizará la evaluación del Patrimonio Forestal Nacional, en base al análisis sobre la situación y las tendencias del Patrimonio Forestal Nacional, frente a los diversos usos y aprovechamientos de los recursos, otras presiones antrópicas y la implementación de políticas públicas; mediante la integración de los datos y reportes generados por el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques con otras fuentes de información.

Se propenderá la integración de información que contenga las características socioeconómicas de la población relacionada de manera directa e indirecta a los bienes y servicios provistos en el Patrimonio Forestal Nacional.

Dicha evaluación proporcionará información esencial para comprender la situación de los recursos del Patrimonio Forestal Nacional, su condición, gestión y uso, así como apoyar en la formulación y seguimiento de políticas, planes, estrategias y toma de decisiones sectoriales. (p.71).

2.3.4. Plan Nacional de Desarrollo 2021–2025

Objetivo 3. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial. Incluye el compromiso de fortalecer la gestión ambiental, fomentar el monitoreo del cambio de uso del suelo, conservar coberturas naturales y prevenir la degradación ecológica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Enfoque de la Investigación

El presente análisis busco identificar, evaluar y comprender los cambios ocurridos en la cobertura vegetal en la parroquia de Machachi a lo largo de tres décadas, para lo cual se adoptó un enfoque metodológico integral que combine herramientas geográficas, análisis de datos históricos. Este enfoque permitió desarrollar estrategias orientadas a la conservación y manejo sostenible del territorio.

Desde la perspectiva de la geografía, se utilizaron herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la realización del análisis multitemporal que permitió detectar cambios en la cobertura vegetal entre 1990, 2000 y 2020. Para ello, las imágenes satelitales de alta resolución y se compararon datos históricos con registros actuales.

3.1.1. Tipo y alcance de investigación.

Se recopiló información de interés relacionada al tema recursos bibliográficos como libros, artículos científicos, manuales técnicos, información geográfica del páramo, que permitió analizar los cambios de la cobertura vegetal, estableciendo la importancia de este ecosistema para la vida natural y a su vez como medio de producción para distintas actividades humanas considerando que toda la información obtenida aportara mayor entendimiento de los cambios producidos durante un lapso de 1990, 2000 y 2020. Con un alcance descriptivo, puesto que la investigación busca brindar una interpretación los resultados obtenidos del fenómeno estudiado, en este caso, al cambio de la cobertura.

3.1.2. Diseño de Investigación.

La investigación es de carácter no experimental, puesto que no se manipulo o alteró el fenómeno estudiado, en su lugar se basó en la observación de la naturaleza de este para la resolución de los objetivos. Tal es así que la investigación se enfoca en la recopilación histórica-documental de información para la obtención de data relevante del espacio geográfico de la parroquia Machachi.

3.2. Metodología

3.2.1. Variables.

3.2.1.1. Variable independiente.

Las variables independientes consideradas en el estudio se agrupan en tres componentes principales:

Abióticas

- **Geología:** formaciones rocosas.
- **Suelos:** tipos y clases agrológicas (*ha, %*).
- **Geomorfología:** pendiente (*%*), erosión, riesgo volcánico (*zonas*).
- **Clima:** precipitación (*mm/año*), temperatura (*°C*), tipo climático.
- **Hidrología:** cuencas y ríos (*km, m³/s*).

Bióticas

- **Flora (cobertura vegetal):** superficie (*ha, %*).
- **Fauna:** especies registradas (*número, estado conservación*).
- **Áreas protegidas:** superficie bajo conservación (*ha, %*).

Socioeconómicas

- **Zona antrópica:** Área urbana e infraestructuras (*ha*).
- **Demografía:** población, densidad, otros (*hab/km²*).
- **División político-administrativa:** límites territoriales.

3.2.1.2. Variable dependiente.

Cambio del uso de suelo (*ha, %*).

3.2.2. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.
Variable dependiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Cambio de cobertura vegetal (1990–2020)	Cualitativa	Nominal – Escala espacial (<i>ha, %</i>)	Clasificación y cuantificación de las coberturas (bosque, páramo, agrícola, urbano, pastizales) y su cambio multitemporal.

Elaborado por: La Autora, 2025

Tabla 2.
Variable independiente

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Geología	Cualitativa	Nominal	Formaciones rocosas y origen volcánico de la zona.
Suelos	Cualitativa / Cuantitativa	Nominal (tipo, clases); Razón (ha, %)	Tipos de suelo, clases agrológicas y superficie.
Geomorfología	Cuantitativa / Cualitativa	Razón (%); Nominal (categorías)	Pendiente, susceptibilidad a erosión y riesgo volcánico.
Clima	Cuantitativa / Cualitativa	Razón (mm/año, °C); Nominal (categorías)	Precipitación, temperatura y tipo climático.
Hidrología	Cualitativa / Cuantitativa	Nominal (ríos, cuencas); Razón (m³/s, km)	Red hídrica, caudales y dinámica de cuencas.
Flora (cobertura vegetal)	Cualitativa / Cuantitativa	Nominal (tipos); Razón (ha, %)	Distribución y extensión de la vegetación.
Fauna	Cualitativa	Nominal	Especies registradas y estado de conservación.
Áreas protegidas	Cualitativa	Nominal	Identificación y delimitación de zonas bajo conservación.
Zona antrópica	Cuantitativa	Razón (km)	Asentamientos humanos.
División político-administrativa	Cualitativa	Nominal	Límites parroquiales, cantonales y provinciales.

Elaborado por: La Autora, 2025

3.2.3. Recolección de datos.

Entre las técnicas empleadas para la recolección de datos del presente trabajo de investigación se aplicaron las siguientes.

3.2.3.1. Recursos.

- **Materiales y equipos:** Debido a que la investigación es documental, el equipo principal para la ejecución de objetivos fue un ordenador, además de información recopilada en apuntes, así como registros de parámetros geográficos de entidades públicas oficiales a nivel nacional.
 - Esferos
 - Libreta de apuntes
 - Laptop
- **Recursos bibliográficos:** La información bibliográfica de cada apartado, se obtuvo de fuentes con validez técnica y científica como: libros, artículos

científicos, capítulos de libros, revistas científicas, manuales técnicos, Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

- **Recurso humano**

- Autora de la investigación
- Docente tutor

- **Software:** Se emplearon herramientas del software SIG para el procesamiento y análisis espacial de la imagen satelital, diseño de mapas y análisis estadístico de la imagen, cuantificación de áreas de cambio y caracterización de la zona de estudio.

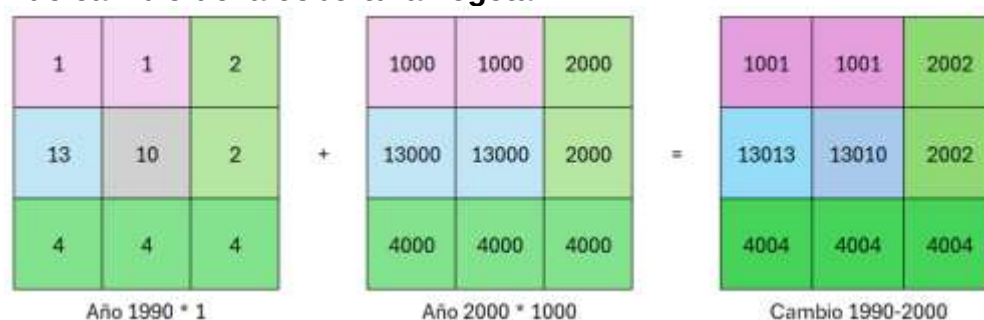
3.2.3.2. Métodos y técnicas.

La caracterización del área se desarrolló a partir de la recopilación de información secundaria proveniente de instituciones oficiales como el Instituto Geográfico Militar (IGM), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Se elaboraron mapas temáticos de pendiente, clases y uso de suelos, clima, hidrología, y asentamientos humanos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta información permitió identificar las condiciones biofísicas y socioeconómicas que inciden en el uso actual del territorio.

La investigación luego se centró en el análisis de la cobertura vegetal mediante la implementación de métodos tales como la interpretación de las clases de cobertura y uso de suelo y la detección de cambios espaciales. Para ello se utilizó la información proporcionada por el geoportal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), que brinda una cartografía temática de diversas series temporales donde se detallada la cobertura a nivel nacional.

Para la determinación de cambios de cobertura en el periodo de estudio y evitar interferencias en el proceso, se aplicó la técnica de suma de valores de identificación o ID, se multiplicó la capa del segundo año por el valor de 1000, cambiando las clases de 1, 2, 3 a 1000, 2000 y 3000. Esto se realizó considerando las 13 clases de cobertura vegetal identificadas en la zona. Así, al sumar los valores ID de las capas, no se presentó conflicto entre clases, lo que permitió identificar las diferentes combinaciones de coberturas. Este método permitió distinguir cambios reales de permanencias y estimar la magnitud de las transformaciones en términos de hectáreas y porcentaje de cada clase, es así como se determinó el cambio de una cobertura inicial a una cobertura final, como se observa a continuación.

Figura 1.
Matriz de cambio de la cobertura vegetal



Elaborado por: La Autora, 2025

Este método también permite identificar cambios en la cobertura de un área. Cuando, al combinar las capas “Año 1990 * 1” y “Año 2000 * 1000”, se generaron nuevos valores como 1001, 2002, 3003, esto nos señaló que la cobertura del primer año coincide con la cobertura del segundo año, es decir, no hubo cambio en esa área. De esta manera, empleando la delimitación del área con los límites político-administrativos del CONALI, se estimaron los cambios para los periodos presentados en las siguientes tablas.

Tabla 3.
Metadato de coberturas y uso de suelo

Capa	Año	Escala	Formato	Fuente
Cobertura y uso de suelo	1990	1:100.000	Shapefile	MAATE
Cobertura y uso de suelo	2000	1:100.000	Shapefile	MAATE
Cobertura y uso de suelo	2020	1:100.000	Shapefile	MAATE

Elaborado por: La Autora, 2025

Por último, la zonificación ecológica-ambiental se elaboró mediante el cruce de variables biofísicas, socioeconómicas y ambientales en un entorno SIG con la herramienta de QGIS, integrando capas temáticas como uso potencial del suelo, clases agrícolas, áreas protegidas, asentamientos humanos y zonas de riesgo, así como la elaboración de una nueva capa de zonas de vida.

El proceso de la homogenización de las zonas se basó en los principios de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE), adaptados a un enfoque ecológico-ambiental. Se aplicó un análisis multicriterio de las capas ponderadas. El criterio central fue definir unidades homogéneas de manejo ambiental, estableciendo categorías de conservación, restauración, producción sostenible y uso urbano.

Tabla 4.
Capas de zonificación

Capa	Fuente	Consideración metodológica
Áreas protegidas	MAATE, 2016	Priorización de conservación estricta
Suelos (clases agrológicas)	MAG, 2016	Evaluación de capacidad de uso y aptitud agrícola
Riesgo volcánico y erosión	IGM, 2019	Identificación de zonas frágiles para uso restringido
Pendiente	ALOS PALSAR, 2011	Clasificación en clases de aptitud (alta, moderada, baja)
Altitud	Autora	Reclasificación de la pendiente en rangos asignados por la pirámide Holdridge (m)
Precipitación	INAMHI, 2014	Clasificación en clases de aptitud (alta, moderada, baja)
Humedad	Autora, 2025	Reclasificación de la precipitación en rangos asignados por la pirámide Holdridge (mm)
Zonas de vida	Autora, 2025	Zonas designadas en base a la intersección de rangos de altitud y humedad.
Asentamientos humanos	INEC, 2020	Exclusión de uso agrícola y conservación

Elaborado por: La Autora, 2025

La zonificación que se aplicó no fue construida al azar, sino siguiendo criterios técnicos de ordenamiento territorial y la Zonificación Ecológica Económica (ZEE), realizada por el INEFAN (2018), y la Zonificación Ecología Ambiental presentada por Grijalva y Otálvaro (2019), adaptados al contexto de la parroquia Machachi. La metodología no se limitó a una superposición cartográfica, sino que se estructuró bajo una jerarquía de criterios normativos, productivos y ambientales, garantizando la coherencia y aplicabilidad de los resultados.

Áreas Protegidas (AP) y No Protegidas (NP)

Primera división lógica debido a que la gestión territorial es distinta dentro y fuera de áreas bajo conservación oficial.

- AP → conservación, manejo sostenible o restricción.
- NP → producción, uso urbano y otras coberturas.

Clases agrológicas (I–VIII)

Basadas en criterios presentados por la FAO (2016) y el IEE (2013), se agruparon en rangos para evitar sobrecarga cartográfica.

- Clases I–III → Tierras sin limitaciones agrícolas.

- Clases IV–V → Tierras con severas limitaciones, cultivables con métodos intensivos de manejo.
- Clases VI–VIII → Tierras aptas para conservación de vida silvestre.
- U → Zona urbana
- NA → Zonas sin uso agrícola (Nieve/Rocas).

Uso potencial del suelo

Diferenciación según vocación de uso del suelo:

- Cultivos (clases I–III) → aptitud alta agrícola.
- Pastos (clases IV–V) → aptitud media/baja, ganadería.
- Protección (clases VII–VIII) → tierras frágiles, pendientes altas o valor ecológico.
- Urbano (U) → asentamientos consolidados.
- Nieve/Rocas/Agua → zonas especiales no productivas.

Susceptibilidad a la erosión (L, Mo, A, MA, R, N)

Se utilizó como criterio transversal para clasificar niveles de riesgo.

- L → Ligero
- Mo → Moderado
- A → Alto
- Ma → Muy Alto
- Rocas (R) y nieve (N) → Categorías especiales denominada NA.

Zona de vida (Holdridge)

Descriptor ambiental importante, se integró como condición secundaria en cada uso, no como categoría independiente.

Altitud

- Montano → Pendiente de 2000 a 3000 m
- Subalpino → Pendiente de 3000 a 3400 m
- Alpino → Pendiente de 3400 a 4000 m
- Superalpino → Pendiente de > 4000 m

Humedad

- Seco → Precipitación de 750 a 1000 mm
- Húmedo → Precipitación de 1000 a 2000 mm

La intersección de la altitud y humedad del área corresponden a una zona:

- Montano + Húmedo → Bosque Húmedo Montano o Bhm

Asentamientos Humanos

Simplificación en cuatro clases para no sobrecargar la leyenda.

- A → Con presencia de asentamiento urbano
- NA → Sin presencia de asentamiento urbano,
- Wn → Cuerpos de agua

Es decir, que la jerarquía aplicada fue: criterio legal (AP/NP), seguido de la vocación productiva (agricultura, pastos, protección, urbano), las condiciones limitantes (erosión, zonas de vida, asentamiento). Este esquema metodológico sigue lo recomendado en manuales de ZEE (FAO, INEFAN) y asegura que la zonificación sea replicable y técnicamente fundamentada.

3.2.4. Población y muestra

3.2.4.1. Población.

Para la obtención de resultados, los insumos cartográficos utilizados provinieron de geodatas a nivel nacional, como las capas de cobertura y uso de suelo correspondientes a los años 1990, 2000 y 2020, proporcionadas por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).

3.2.4.2. Muestra.

Las capas recopiladas fueron delimitadas al área de estudio considerando los límites político-administrativos establecidos por el Comité Nacional de Límites Internos (CONALI), para la parroquia de Machachi en la provincia de Pichincha.

3.2.5. Análisis estadístico

La presente investigación adoptó un enfoque cuantitativo para la recopilación y análisis de datos, centrándose en un diseño descriptivo que permitirá examinar datos existentes con el propósito de identificar patrones y tendencias en el cambio de cobertura vegetal en el área de estudio. Dado que se trata de un análisis multitemporal, se recolectaron datos históricos de la cobertura vegetal correspondientes a los años 1990, 2000 y 2020. La muestra fue seleccionada de manera estratificada para asegurar una representación adecuada de las distintas condiciones y períodos analizados, garantizando la validez de los resultados. La metodología combinó métodos teóricos y empíricos: se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre cambios de cobertura vegetal y, a nivel aplicado, se utilizaron herramientas de análisis geoespacial, imágenes satelitales y sistemas de información geográfica.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de las condiciones biofísicas y socioeconómicas de la parroquia Machachi, mediante la recopilación de información secundaria para comprender los factores que influyen en la dinámica de la cobertura vegetal.

El primer objetivo consistió en la caracterización biofísica y socioeconómica de la parroquia Machachi, lo que permitió establecer un diagnóstico integral del territorio y de su población. Esta caracterización se elaboró a partir de la consulta de bibliografía de fuentes oficiales confiables y se complementó con el uso de cartografía base, consultada y procesada por SIG, lo que permitió obtener una visión más completa y respaldada técnicamente de la realidad territorial. Dicho análisis constituye la base para comprender la dinámica ambiental y social de la zona, así como su vulnerabilidad frente a amenazas naturales.

Figura 2.
Procesamiento de insumos cartográficos



Elaborado por: La Autora, 2025

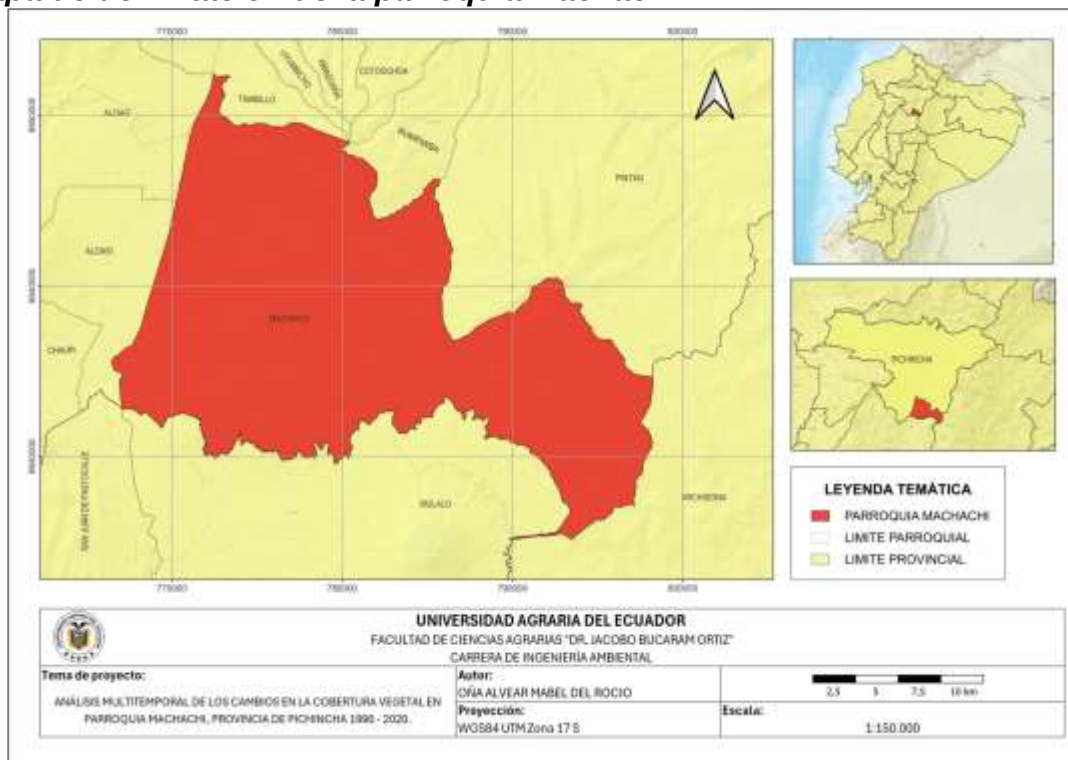
La parroquia Machachi identificada con color rojo, oficialmente denominada Santiago de Machachi, constituye la capital y una de las ocho parroquias que integran el cantón Mejía. Se localiza en la región interandina del Ecuador, dentro de la provincia de Pichincha, a una altitud promedio de 2.933 m s. n. m. y con una extensión territorial de 39 245.55 hectáreas. Por sus dimensiones y densidad poblacional, se reconoce como la cuarta urbe más grande y poblada de la provincia, desempeñando un papel estratégico en la dinámica económica y administrativa del cantón (Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Pichincha, 2020).

En cuanto a sus límites territoriales, Machachi colinda al norte con las parroquias de Tambillo y Rumipamba; al sur con la provincia de Cotopaxi; al este con la provincia de Napo; y al oeste con la parroquia de Aloasí. Actualmente, se

configura como el núcleo central del cantón Mejía, al concentrar la mayor población urbana y consolidarse como el principal espacio de actividades comerciales, prestación de servicios y dotación de equipamientos en la zona.

Figura 3.

Mapa de delimitación de la parroquia Machachi



Elaborado por: La Autora, 2025

La parroquia Machachi limita al norte con la parroquia de Tambillo y Rumipamba, al sur con la provincia de Cotopaxi, al este con la provincia de Napo y al oeste con la parroquia de Aloasí. En la actualidad, Machachi representa el núcleo central del cantón, concentrando la mayor población urbana y siendo el principal centro de actividades comerciales, servicios y equipamientos de la zona.

4.1.1. Características del medio biofísico

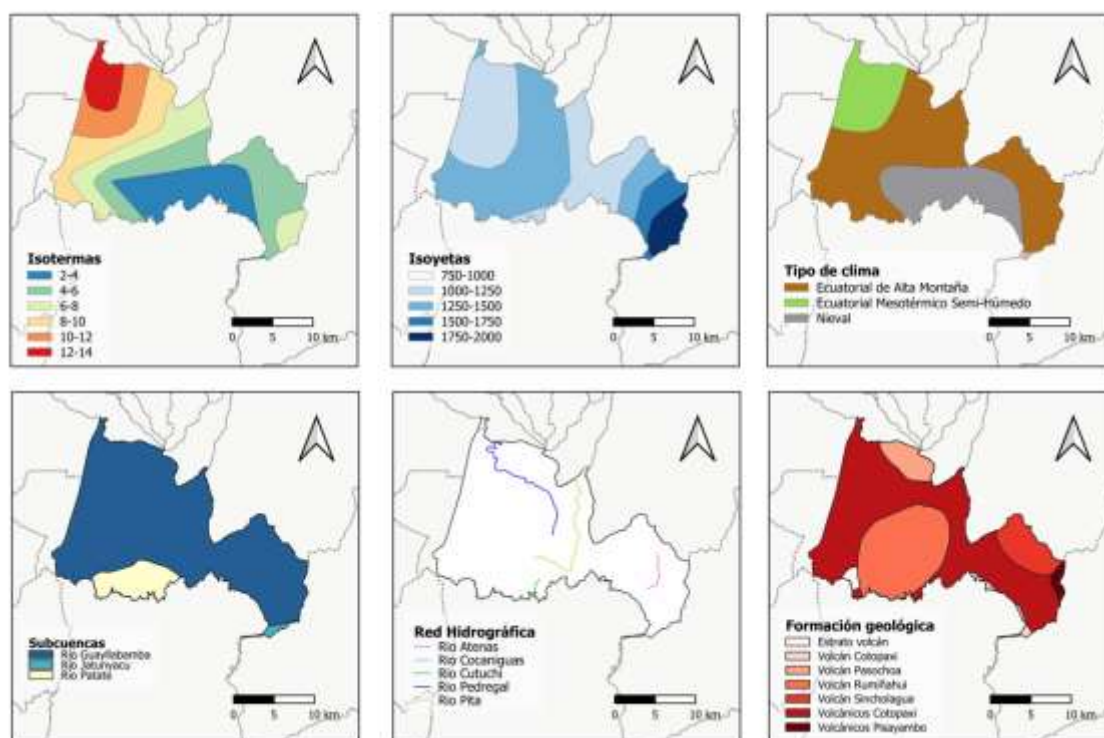
El medio biofísico se configura a partir de una combinación de diversos factores que determinan tanto su potencial productivo como su nivel de vulnerabilidad frente a fenómenos naturales. La interacción entre estos factores condiciona la dinámica ambiental del territorio y establece las bases para el aprovechamiento de recursos, planificación de uso de suelo y gestión de riesgos.

En la Figura 4 se presenta un consolidado cartográfico con la distribución espacial de las principales variables geomorfológicas, hidrográficas y

climatológicas analizadas de Machachi, que incluye la temperatura, precipitación, tipo de clima, hidrografía, pendiente y peligros volcánicos. Esta representación gráfica permite visualizar la interrelación de los factores ambientales descritos y su incidencia en la configuración territorial de la parroquia.

Figura 4.

Mapa de variables climatológicas, hidrográficas y geológicas



Elaborado por: La Autora, 2025

Adicionalmente, el Plan de Ordenamiento y Desarrollo Territorial del Cantón Mejía para el periodo 2019 – 2023 emitido por el GAD de Pichincha (2020), establece que el clima de la parroquia Machachi, está influenciado por factores presentados en la tabla 5. La temperatura media anual del cantón es de 12.8°C, con valores más altos en el sector occidental. Las zonas más frías se encuentran en las montañas y el valle, con temperaturas que van de 1°C a 14°C. Mientras que, en la región oriental donde se encuentra la parroquia Machachi, las temperaturas oscilan entre 7°C y 14°C. De acuerdo con la memoria técnica proporcionada por el Instituto Geofísico Militar (2013), la temperatura media anual es de 12.6°C.

La precipitación media anual en la parroquia Machachi tiene un aproximado de 950 mm, siendo los meses más lluviosos en febrero, marzo, abril y los más secos entre junio y agosto. Adicionalmente, la humedad relativa promedio es del

83%, con los meses más secos de junio a septiembre. En Machachi predomina el clima ecuatorial mesotérmico semihúmedo, sobre todo en el centro parroquial. Este clima se caracteriza por temperaturas entre 10 °C y 20 °C y una precipitación anual de 750 a 2 000 mm, condiciones que favorecen las actividades agropecuarias y configuran un ambiente templado-húmedo propio de la zona andina.

Tabla 5.

Características del medio físico de la parroquia Machachi

Tema	Variables	Descripción
Climatología	Temperatura	Rango: 2 a 14 °C Media: 12.6°C.
	Precipitación	Rango: 750 a 2 000 mm. Media: 950 mm.
	Tipo de clima	– Ecuatorial mesotérmico semihúmedo – Ecuatorial de alta montaña. – Nieval.
	Humedad	Media: 83%.
Hidrografía	Subcuencas	– Río Guallabamba – Río Jatunyacu – Río Patate – Río Atenas,
	Red hídrica	– Río Cocaniguas, – Río Cutuchi, – Río Pedregal – Río Pita.
Geomorfología	Susceptibilidad a la erosión	– Severa – Alta – Moderada – Baja – Sin susceptibilidad
	Pendiente	Media: 1.65%.
	Riesgo volcánico	– Zonas de riesgo. – Zonas sin riesgo.
Geología	Formación	Volcanes
Suelos	Cobertura vegetal	Nivel I
	Uso de suelo	Descripción
	Taxonomía	Orden
	Clases agrológicas	Uso potencial

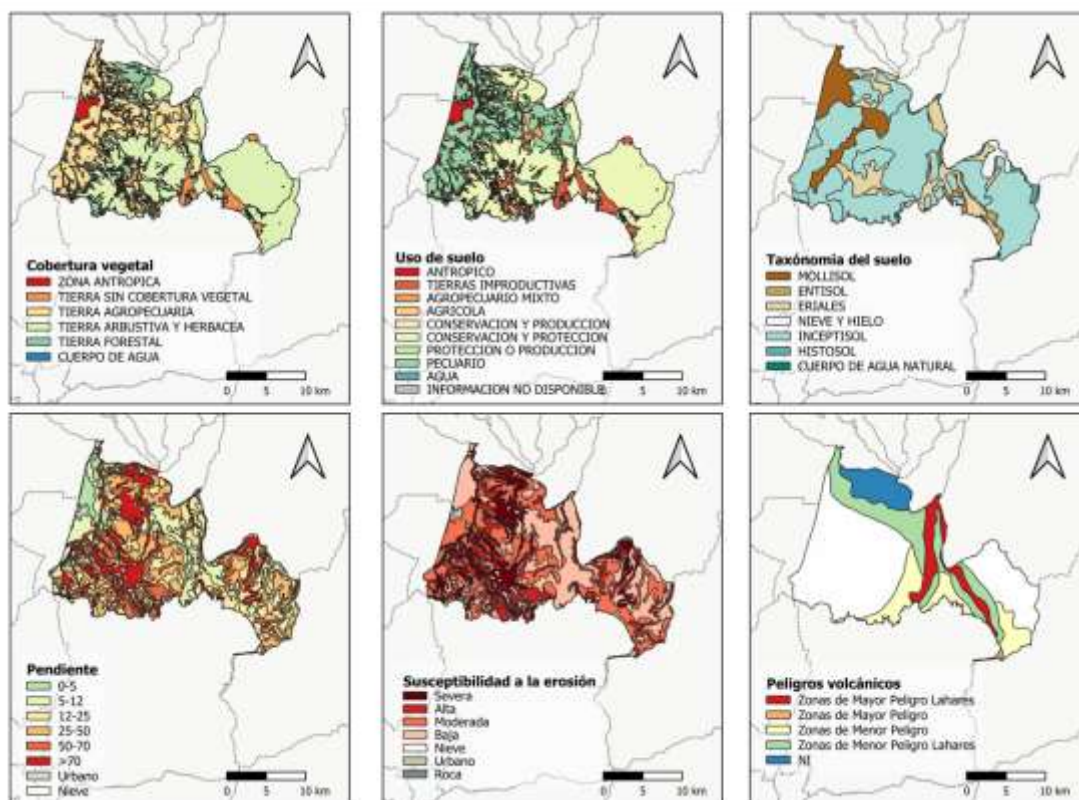
Elaborado por: La Autora, 2025

En cuanto a la hidrografía, Machachi forma parte de la cuenca del río Guayllabamba, un sistema fluvial que se nutre principalmente de los deshielos de varios volcanes cercanos, como el Atacazo, el Corazón, el Cotopaxi, el Ilinizas, y

el Rumiñahui, entre otros. Este flujo hídrico no solo abastece a la parroquia, sino que también juega un papel fundamental en la recarga de acuíferos y en la agricultura local. Además, cuenta con la microcuenca del río San Pedro, que pertenece a esta subcuenca más amplia, contribuyendo a la diversidad hídrica de la zona. Esta red y fuentes de agua es esencial para la agricultura y vida cotidiana de los habitantes, alimentando a los cultivos y ecosistemas que dependen de ella.

Machachi se encuentra en un valle interandino, dentro de la Hoya de Machachi, con una topografía irregular que caracteriza su geografía. El terreno es mayormente plano, con un pendiente promedio del 1.65%, lo que facilita las actividades agrícolas en la región. A medida que se aleja del centro del valle, el relieve se eleva hacia las montañas circundantes, lo que le da a la zona una gran diversidad geográfica. El territorio al que pertenece se combinan áreas volcánicas, montañosas y llanuras, lo que no solo define el paisaje, sino que también influye en el tipo de vegetación y fauna que se encuentra en la región. Este relieve, junto con la proximidad de los volcanes, es un factor importante en la climatología local, las precipitaciones y la disponibilidad de recursos naturales.

Figura 5.
Mapa de variables de suelo y geomorfología



Elaborado por: La Autora, 2025

Con respecto al medio biótico, la vegetación en Machachi es diversa y abundante, favorecida por las vertientes y fuentes de agua que recorren la zona. El manto verde predomina, especialmente en las áreas cercanas a las fuentes hídricas y en las zonas altas. En este contexto, resulta fundamental identificar las áreas protegidas dentro del territorio, las cuales se presentan a continuación.

Figura 6.

Mapa del sistema de áreas naturales protegidas



Elaborado por: La Autora, 2025

Como se observa en el mapa, dentro del territorio parroquial de Machachi se destacan varias áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), entre ellas el Área Nacional de Recreación El Boliche, el Parque Nacional Cotopaxi y el Refugio de Vida Silvestre Paschocha. Estos lugares cumplen un papel clave en la conservación de la biodiversidad y en la provisión de servicios ecosistémicos, además de ser escenarios para la recreación y el turismo sostenible.

A pesar de que aún se conservan algunas especies endémicas, muchas han desaparecido a causa de la expansión agrícola y la explotación forestal, que han alterado el equilibrio natural de la región. La flora local incluye familias como *Asteraceae*, *Ericaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae*, *Solanaceae* y *Orchidiaceae* (Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Pichincha, 2020). Sin embargo, la expansión de

cultivos agrícolas como la alfalfa ha desplazado a muchas especies nativas, modificando la estructura ecológica original.

Tabla 6.
Flora y Fauna de la parroquia Machachi

Variable	Descripción
Flora	<i>Asteraceae,</i> <i>Ericaceae,</i> <i>Poaceae,</i> <i>Apiaceae,</i> <i>Solanaceae</i> <i>Orchidiaceae.</i>
Variable	Descripción
Fauna	Mamíferos: – Pumas, – Venados, – Osos de anteojos, – Tigrillos, – Conejos, – Raposas, – Chucuris, y – Guantas. Reptiles Anfibios

Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Pichincha, 2020.

Además, el uso intensivo del suelo para actividades agrícolas ha reducido significativamente las áreas de vegetación natural, afectando la biodiversidad y fauna local. A pesar de estos desafíos, aún persisten áreas con rica vegetación que ofrece hábitat a diversas especies de fauna. Entre esta se destacan mamíferos como pumas, venados, osos de anteojos, tigrillos, conejos, raposas, chucuris y guantas. Además, se encuentra una notable variedad de reptiles y anfibios, muchos de ellos en áreas protegidas. El 42% de las especies son endémicas y el 40% está en peligro de extinción, lo que resalta la importancia de la conservación en la región (Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Pichincha, 2020).

4.1.2. Características socioeconómicas

Según el Censo de Población y Viviendas de 1990- 2020 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2025) en la parroquia Machachi, los datos demográficos e infraestructura mostraron en los años 1990, 2010 y 2020 una evolución en diversos aspectos de la población y sus condiciones de vida.

Tabla 7.
Metadatos de las coberturas socioeconómicas 1990-2020

	1990	2010	2020
Población total	22 820	27 986	32 814
Densidad poblacional	48.12 hab/km ²	59.02 hab/km ²	84 hab/km ²
Distribución poblacional	Urbana: 12 469; Rural: 50.419 Casa/Villa: 65.4% Departamento: 24.6%	Urbana: 16 515; Rural: 11.108 Casa/Villa: 79.1% Departamento: 10.1%	Urbana: 24 188; Rural: 8626 Casa/Villa: 65.4% Departamento: 24.6%
Condiciones de vivienda	Cuarto inquilinato: 3.7% Mediagua: 6% Covacha, Choza, otros: 0,2% Rancho: 0.1%"	Cuarto inquilinato: 5.8% Mediagua: 5% Covacha, Choza, otros: 0,1% Rancho: 0.0%	Cuarto inquilinato: 6% Mediagua: 3.7% Covacha, Choza, otros: 0,2% Rancho: 0.1%
Viviendas con acceso a agua	87.50%	87.60%	97.20%
Viviendas con acceso a energía eléctrica	74.30%	99.00%	97%
Viviendas con acceso a red de alcantarillado	76%	82.50%	91.20%
Viviendas con acceso a recolección de basura	74.30%	92.70%	91.20%
Ramas de trabajo	-	Servicios: 2 689 Agricultura y minas: 2 852 Comercio: 3 327 Manufactura: 1 778 Construcción: 595	Servicios: 6 531 Agricultura y minas: 2 734 Comercio: 2 582 Manufactura: 1 702 Construcción: 601

Elaborado por: La Autora, 2025

El patrón de distribución poblacional ha variado considerablemente. En 1990, la mayoría de la población residía en áreas rurales (50.419 habitantes), mientras que en 2010 y 2020 se observa un claro proceso de urbanización, con la población urbana creciendo de 22 820 en 2010 a 24 188 en 2020, y la población rural reduciéndose de 11 108 a 8 626 en el mismo período.

Las condiciones de vivienda han mostrado mejoras y variaciones a lo largo de los años. En 1990, el 65.4% de la población habitaba en casas o villas, porcentaje que aumentó significativamente a 79.1% en 2010, aunque en 2020 volvió a los niveles de 1990. El porcentaje de viviendas en departamentos también ha fluctuado, representando el 24.6% en 1990 y 2020, pero disminuyendo a 10.1% en 2010. Otros tipos de vivienda, como mediaguas, cuartos inquilinatos y chozas, mantienen proporciones relativamente estables, con leves incrementos en 2020.

El acceso a servicios básicos ha mejorado considerablemente. En términos de agua potable, el porcentaje de viviendas con acceso subió de 87.50% en 1990 a 97.20% en 2020. La electrificación creció de un 74.30% en 1990 a un 99% en 2010, estabilizándose en 97% para 2020. El acceso a la red de alcantarillado también ha incrementado, pasando de 76% en 1990 a 91.20% en 2020. Asimismo, la recolección de basura se incrementó de 74.30% en 1990 a más del 91% en 2020.

Entre 2010 y 2020, las dinámicas laborales en Machachi han mostrado cambios significativos en diferentes sectores económicos. El sector servicios experimentó el mayor crecimiento, pasando de 2 689 trabajadores en 2010 a 6 531 trabajadores en 2020, lo que indica una creciente demanda en actividades como administración, educación, salud y otros servicios públicos y privados. Por otro lado, el sector agricultura y minas tuvo una leve reducción en su participación, con 2 852 trabajadores en 2010 y 2 734 trabajadores en 2020. Esto puede deberse a la migración de la fuerza laboral hacia otros sectores o a la mecanización de actividades agrícolas.

Similarmente, el sector manufacturero y el de construcción mostraron una leve disminución, reflejando posibles cambios en la estructura productiva y de empleo en la parroquia. En contraste, el comercio, que en 2010 contaba con 3 327 trabajadores, sufrió una disminución a 2 582 trabajadores en 2020, posiblemente debido a cambios en la economía local y a la competencia de otros mercados (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2025).

En general, el crecimiento del sector servicios y la reducción en áreas tradicionales como la agricultura y comercio sugieren una transformación en la estructura económica de Machachi, orientándose hacia un modelo más basado en servicios y menos dependiente de actividades primarias. Machachi se posiciona, así como un punto estratégico dentro del cantón Mejía, con una base productiva sólida y un crecimiento en sectores clave para el desarrollo económico local.

4.2. Análisis de los cambios en el uso del suelo y la cobertura vegetal durante el periodo 1990–2020, a través del procesamiento de imágenes satelitales, con el fin de cuantificar las áreas de cambios identificadas.

A continuación, se presenta los metadatos de las coberturas seleccionadas para el análisis y detección de cambios de las coberturas y uso de suelo para el período 1990-2020, obtenidos del Geoportal del MAATE. Estas capas geoespaciales, generadas a nivel nacional, se encuentran en formato Shapefile y a una escala de 1:100.000, permitiendo un análisis de los cambios en el uso del suelo. La información fue emitida por el MAATE en 2016 y 2023, garantizando su calidad y precisión para estudios ambientales y territoriales.

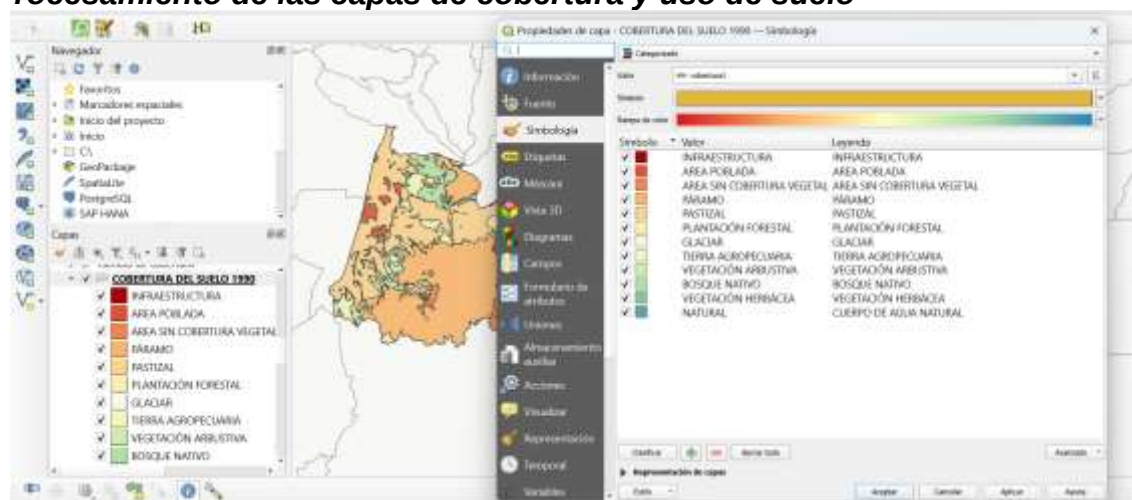
Tabla 8.
Metadatos de las coberturas y uso de suelo (1990-2020)

Datos	Cobertura y Uso de suelo 1990	Cobertura y Uso de suelo 2000	Cobertura y Uso de suelo 2020
Fecha de emisión	2016	2016	2023
Formato	Shapefile	Shapefile	Shapefile
Escala	1:100.000	1:100.000	1:100.000
Fuente	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica

Elaborado por: La Autora, 2025

Para el procesamiento de los datos, las capas fueron descargadas en formato Shapefile e integradas en un sistema de información geográfica (SIG), en este caso el programa QGIS. Se crearon índices espaciales para corregir las geometrías y asegurar la integridad topológica antes de delimitar el área de estudio con la herramienta cortar. Además, se estandarizó la clasificación de los tipos de cobertura según sus descripciones oficiales, asignando un ID a cada clase. Estos procesos garantizaron la comparabilidad temporal en el análisis del uso del suelo.

Figura 7.
Procesamiento de las capas de cobertura y uso de suelo



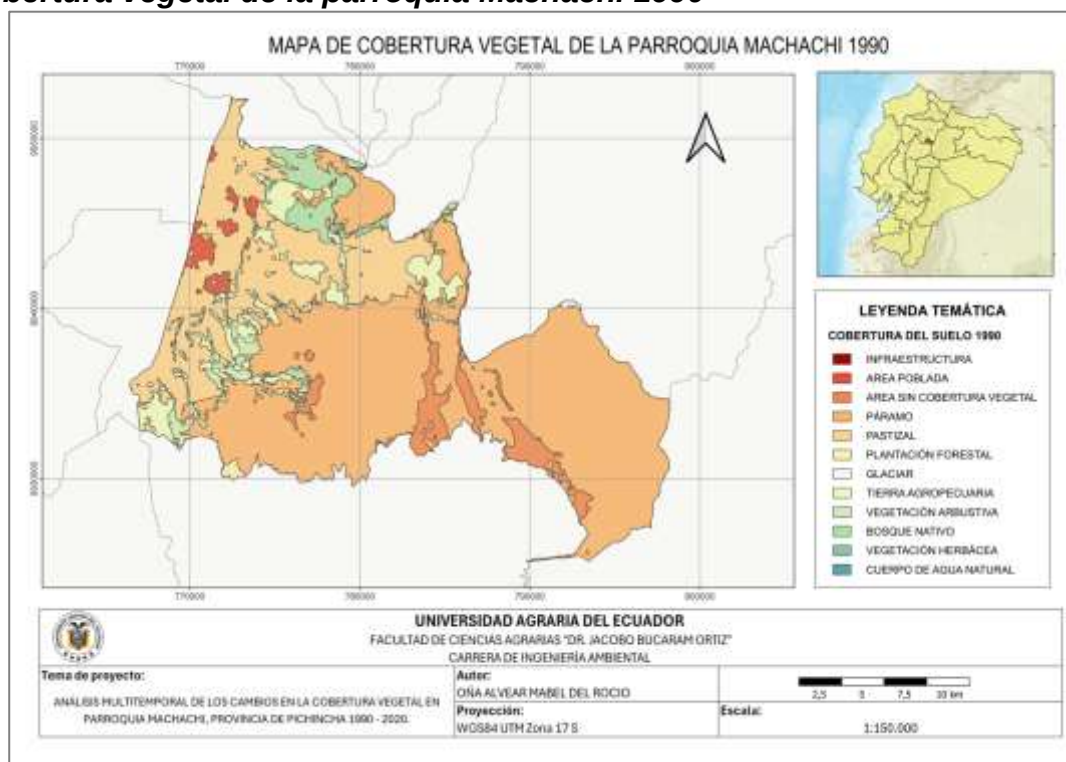
Elaborado por: La Autora, 2025

Tomando como referencia la clasificación de coberturas y uso de suelo establecida por el MAATE, el Anexo N° 2 presenta las coberturas identificadas en Machachi, luego de delimitar el área de estudio. Cada categoría está organizada con un ID único, abarcando coberturas naturales como cuerpos de agua, glaciares y bosques nativos, así como áreas de uso humano, incluyendo tierras agropecuarias, infraestructura y cultivos anuales. Esta clasificación facilita el análisis de la distribución y cambios en el uso del suelo en el área de estudio.

Una vez realizada la estandarización de las clases en las tres capas, se estimó la distribución de las coberturas vegetales mediante la aplicación de la calculadora de campos en la tabla de atributos en QGIS, indicando el área ocupada en hectáreas por cada categoría y su respectivo porcentaje sobre el total del territorio analizado. Esta información permitió identificar las coberturas predominantes, así como aquellas con menor representación, proporcionando una visión clara del paisaje del área.

Con respecto al años 1990, en la parroquia Machachi se identificaron 12 clases de cobertura vegetal, entre las cuales se observa que el páramo constituye la cobertura dominante, ocupando el 56.03% del área total, seguido por el pastizal con un 22.75%.

Figura 8.
Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990



Elaborado por: La Autora, 2025

Tabla 9.
Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990

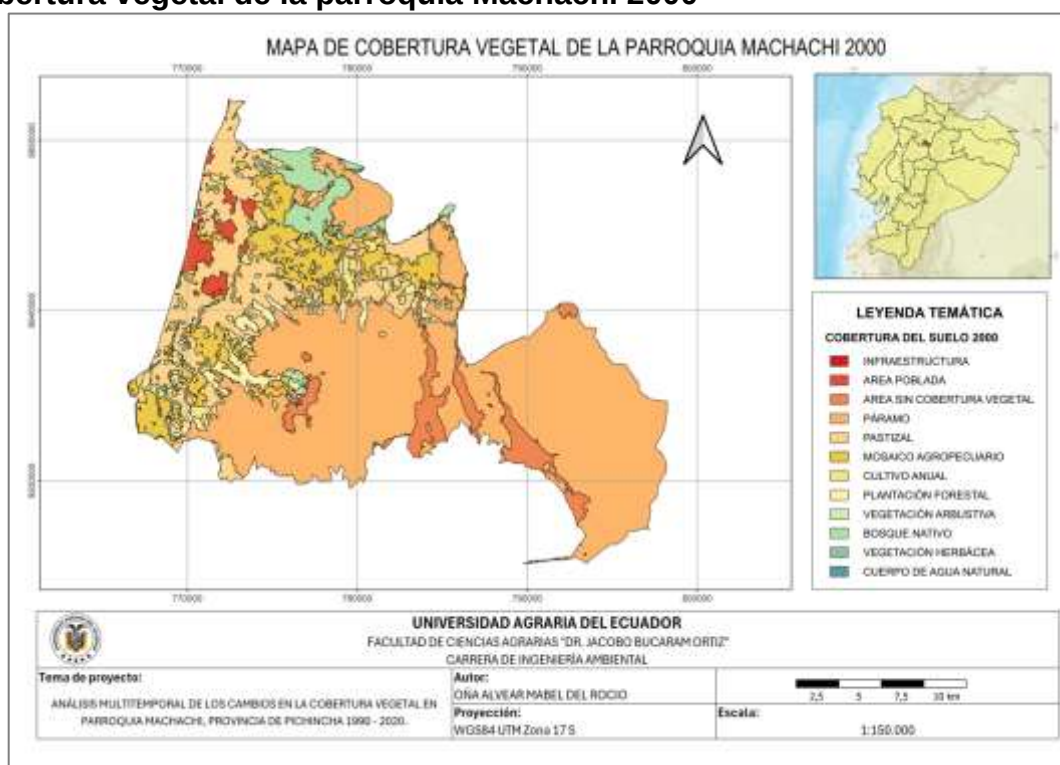
ID	COBERTURA VEGETAL	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1	AGUA NATURAL	6.474	0.02%
2	AREA SIN COBERTURA VEGETAL	2 092.863	5.33%
3	GLACIAR	37.598	0.10%
4	PASTIZAL	8 928.029	22.75%
5	TIERRA AGROPECUARIA	2 665.742	6.79%
6	PÁRAMO	2 1987.925	56.03%
7	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	1 152.141	2.94%
8	VEGETACIÓN HERBÁCEA	5.663	0.01%
9	BOSQUE NATIVO	1 483.844	3.78%
10	PLANTACIÓN FORESTAL	261.289	0.67%
11	AREA POBLADA	619.215	1.58%
12	INFRAESTRUCTURA	4.774	0.01%

Elaborado por: La Autora, 2025

En contraste, las coberturas como los cuerpos de agua natural, glaciares y vegetación herbácea presentan una presencia mínima, con porcentajes inferiores al 0.1%. Las áreas de uso humano, como la tierra agropecuaria (6.79%) y el área poblada (1.58%), reflejan la intervención antrópica en el territorio, mientras que el bosque nativo y la vegetación arbustiva mantienen una representación moderada.

Para el año 2000, Machachi presenta las mismas coberturas previamente identificadas, pero se destaca la ausencia de glaciares, lo cual puede ser el resultado del retroceso glaciar asociado al cambio climático. La clase de páramo sigue siendo la cobertura predominante, aunque muestra una ligera disminución en su extensión, pasando del 56.03% al 54.44%, lo que podría estar relacionado con la transformación del paisaje debido a factores naturales y antrópicos. Además, los pastizales experimentan una reducción pasando del 22.75% al 16.21%, lo que indica una conversión hacia usos agropecuarios u otros usos intensivos del suelo.

Figura 9.
Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2000



Elaborado por: La Autora, 2025

Tabla 10.***Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2000***

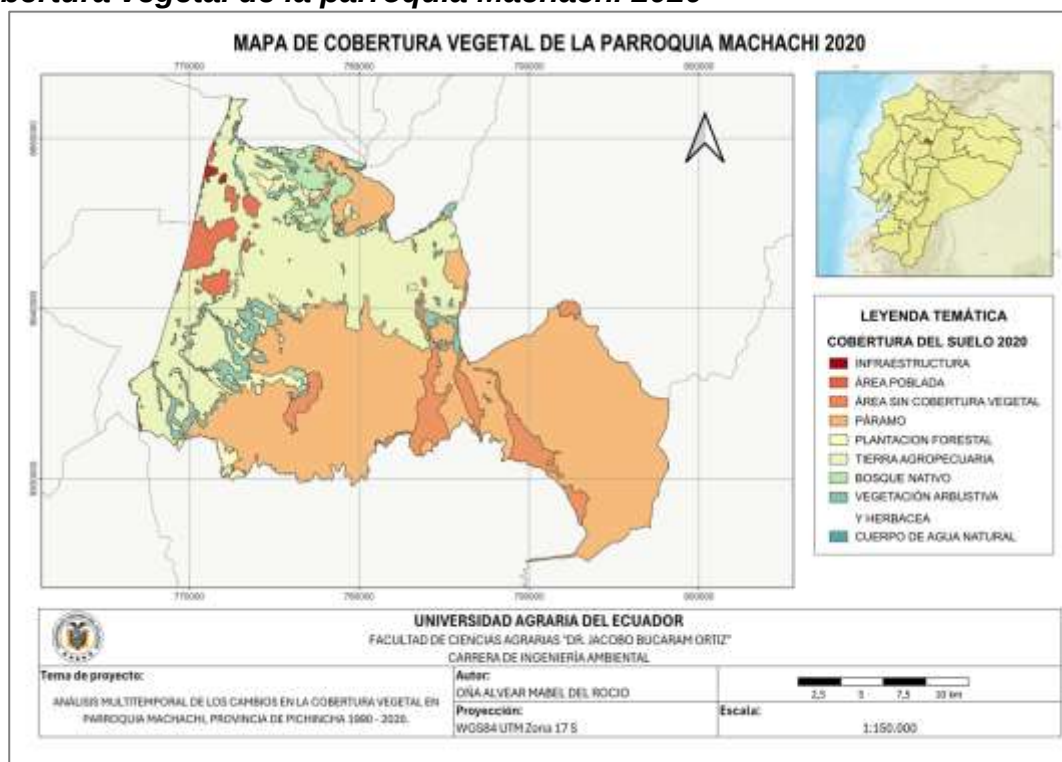
ID	COBERTURA VEGETAL	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1	AGUA NATURAL	6.47	0.02%
2	AREA SIN COBERTURA VEGETAL	2 200.66	5.61%
4	PASTIZAL	6 361.81	16.21%
5	MOSAICO AGROPECUARIO	4 064.15	10.36%
6	PÁRAMO	21 366.60	54.44%
7	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	462.10	1.18%
8	VEGETACIÓN HERBÁCEA	3.59	0.01%
9	BOSQUE NATIVO	1 550.22	3.95%
10	PLANTACIÓN FORESTAL	1 474.60	3.76%
11	AREA POBLADA	731.47	1.86%
12	INFRAESTRUCTURA	26.98	0.07%

Elaborado por: La Autora, 2025

Las áreas de uso humano experimentan un notable crecimiento en 2000, destacando el aumento del mosaico agropecuario del 6.79% al 10.36% y del área poblada, que pasó del 1.58% al 1.86%. También se observa un incremento en la plantación forestal, de 0.67% a 3.76%, lo que podría reflejar una expansión de la reforestación comercial en estas áreas.

Con respecto al 2020, el último año de análisis, se observa que el páramo sigue siendo la cobertura más representativa de Machachi, aunque con una ligera disminución, ocupando el 50.74% del territorio, en comparación con el 54.44% registrado en el año 2000. Mientras que, las áreas de tierra agropecuaria continúan su expansión, alcanzando un 31.31%, un notable aumento respecto al 10.36% del año 2000, lo que refleja un incremento en las actividades agrícolas en la zona.

Figura 10.
Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2020



Elaborado por: La Autora, 2025

Tabla 11.
Cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2020

ID	COBERTURA VEGETAL	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1	AGUA NATURAL	7.60	0.02%
2	AREA SIN COBERTURA VEGETAL	2 195.20	5.59%
5	TIERRA AGROPECUARIA	12 287.09	31.31%
6	PARAMO	19 913.05	50.74%
7	VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA	1 753.01	4.47%
9	BOSQUE NATIVO	1 073.45	2.74%
10	PLANTACION FORESTAL	945.25	2.41%
11	AREA POBLADA	969.38	2.47%
12	INFRAESTRUCTURA	101.52	0.26%

Elaborado por: La Autora, 2025

También se observa que la vegetación arbustiva y herbácea muestran un aumento considerable, alcanzando el 4.47%, mientras que el bosque nativo y las plantaciones forestales presentan una ligera reducción, con 2.74% y 2.41% respectivamente. El crecimiento del área poblada también es significativo, llegando al 2.47%, lo que refleja el proceso de urbanización. En general, el análisis de 2020

indica una mayor expansión de las actividades agrícolas y urbanas, junto con una ligera disminución de las coberturas naturales, como el páramo y el bosque nativo, evidenciando un cambio en el uso del suelo en la parroquia.

4.2.1. Detección de cambios de la cobertura y uso de suelo

La detección de cambios se realizó para tres períodos: 1990-2000, 2000-2020 y 1990-2020. Para ello, se llevó a cabo una reclasificación utilizando la calculadora de campos en el programa QGIS, con el fin de modificar los valores del ID de una de las capas involucradas en el análisis mediante operaciones matemáticas. Esto permitió generar una nueva clase de cobertura resultante de la suma de las capas de los diferentes años, utilizando la herramienta de unión, que facilita la superposición de capas sin perder información, permitiendo así realizar la detección de los cambios.

4.2.1.1. Periodo 1990-2000.

Entre 1990 y 2000, se observa una transformación en la distribución de las coberturas vegetales, con un aumento de áreas dedicadas a tierra agropecuaria, que se expanden principalmente sobre el pastizal y el páramo. En este período, se presenta una conversión de tierras de pastizal y páramo hacia cultivos anuales y mosaico agropecuario, lo que refleja un creciente impulso de la actividad agrícola en la zona. Además, como se menciona en la tabla del Anexo N° 3, las plantaciones forestales aumentan en diversas coberturas vegetales.

Cabe mencionar que, el páramo sigue siendo la cobertura dominante como posteriormente se presentara en la tabla 12 sobre las áreas sin cambio, pero hubo una reducción del área cubierta por esta clase a causa de la expansión agrícola y la conversión de suelos. A su vez, el bosque nativo y la vegetación arbustiva muestran una ligera disminución en su superficie, mientras que las infraestructuras y las áreas pobladas crecen de manera moderada. Estos cambios evidencian un patrón de intensificación del uso de la tierra en la región, con un claro desplazamiento de las coberturas naturales hacia áreas de producción agropecuaria y urbanización.

Tabla 12.**Áreas sin cambios de cobertura en la parroquia Machachi 1990-2000**

ID	COBERTURA VEGETAL	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1	AGUA NATURAL	6.474	0.02%
2	AREA SIN COBERTURA VEGETAL	1 923.709	4.90%
4	PASTIZAL	5 560.427	14.17%
5	MOSAICO AGROPECUARIO	1 584.956	4.04%
6	PÁRAMO	20 880.209	53.20%
7	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	327.610	0.83%
8	VEGETACIÓN HERBÁCEA	3.596	0.01%
9	BOSQUE NATIVO	1 438.482	3.67%
10	PLANTACIÓN FORESTAL	130.024	0.33%
11	AREA POBLADA	617.463	1.57%
12	INFRAESTRUCTURA	4.729	0.01%
TOTAL		32 477.678	82.76%

Elaborado por: La Autora, 2025

En total las áreas cuya cobertura y uso de suelo permaneció constante para el periodo 1990-2000, fue del 82.76%, entre las coberturas más destacadas sin cambios se encuentran el páramo, con un 53.20%, y el pastizal, con un 14.17%, que junto con otras coberturas como el bosque nativo (3.67%) y el mosaico agropecuario (4.04%), se mantuvieron relativamente constantes en su distribución.

4.2.1.2. Periodo 2000-2020.

Entre 2000 y 2020, la parroquia Machachi experimentó cambios en su cobertura y uso de suelo, con respecto a las áreas agropecuarias con un aumento del 14.55%, principalmente sobre la cobertura de pastizales, como se observa en el Anexo N°5. Este crecimiento estuvo acompañado por una reducción menor del páramo en un 3.57% y de las plantaciones forestales en un 1%, debido a la intensificación de la actividad agrícola. Esto refleja una conversión progresiva de espacios naturales en áreas productivas.

Por otro lado, el 69.24% del territorio de la parroquia mantuvo la misma cobertura y uso de suelo desde el año 2000. Sin embargo, el páramo, aunque sigue siendo la zona predominante, se redujo a 19 311.61 hectáreas (49.21%) para el 2020 debido a la expansión de las actividades agropecuarias, lo que representa una disminución en comparación con el 53.20% registrado entre 1990 y 2000. A su vez, las tierras agropecuarias conservaron una extensión original de 3 499.80 hectáreas (8.92%) sin variaciones. En cuanto a la zona poblada y la infraestructura,

estas áreas, que representan solo el 1.86% y el 0.06% del territorio, respectivamente, permanecieron prácticamente sin cambios.

Tabla 13.

Áreas sin cambios de cobertura en la parroquia Machachi 2000-2020

ID	COBERTURA VEGETAL	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1	AGUA NATURAL	4.656	0.01%
2	AREA SIN COBERTURA VEGETAL	1 936.584	4.93%
5	TIERRA AGROPECUARIA	3 499.801	8.92%
6	PARAMO	19 311.612	49.21%
7	VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA	300.676	0.77%
9	BOSQUE NATIVO	1 067.064	2.72%
10	PLANTACION FORESTAL	294.945	0.75%
11	AREA POBLADA	731.474	1.86%
12	INFRAESTRUCTURA	24.954	0.06%
TOTAL		27171.767	69.24%

Elaborado por: La Autora, 2025

4.2.1.3. Periodo 1990-2020.

Entre 1990 y 2020, la parroquia Machachi de igual manera tuvo pequeños cambios notables en su cobertura y uso de suelo, especialmente por la expansión agropecuaria, cuya distribución se detalla en el Anexo N°7. El pastizal convertido en tierra agropecuaria alcanzó el 20.74% del territorio, mientras que el páramo transformado en tierra agropecuaria representó el 4.28%, mostrando una fuerte presión sobre estos ecosistemas. También destaca la conversión de vegetación arbustiva (0.65%) y plantaciones forestales en tierras agropecuarias (0.61%). Estos cambios reflejan una intensificación del uso productivo del suelo y la disminución de áreas naturales.

En este periodo se estima que, el 64.88% del área se mantuvo sin cambios en la cobertura, destacando la estabilidad de ecosistemas clave. El páramo conservó su extensión en un 49.34%, lo que resalta su resistencia frente a la expansión agropecuaria y su importancia ecológica como regulador hídrico. Las tierras agropecuarias también se mantuvieron estables en un 4.98%, al igual que el bosque nativo con un 2.66%, reflejando áreas que no sufrieron deforestación significativa. Otras coberturas como la vegetación arbustiva y herbácea (1.69%) y las áreas pobladas (1.58%) conservaron su extensión, indicando un crecimiento urbano controlado y cierta preservación de la vegetación secundaria.

Tabla 14.**Áreas sin cambios de cobertura en la parroquia Machachi 1990-2020**

ID	COBERTURA VEGETAL	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
1	AGUA NATURAL	4.656	0.01%
2	AREA SIN COBERTURA VEGETAL	1 745.032	4.45%
5	TIERRA AGROPECUARIA	1 954.990	4.98%
6	PARAMO	19 364.792	49.34%
7	VEGETACION ARBUSTIVA Y HERBACEA	663.763	1.69%
9	BOSQUE NATIVO	1 042.252	2.66%
10	PLANTACION FORESTAL	63.895	0.16%
11	AREA POBLADA	618.165	1.58%
12	INFRAESTRUCTURA	4.149	0.01%
TOTAL		25 461.694	64.88%

Elaborado por: La Autora, 2025

En resumen, el análisis del cambio de la cobertura y uso de suelo en la parroquia Machachi entre 1990 y 2020 considerando los tres periodos establecidos, muestra una tendencia creciente en los cambios de uso del suelo como se observa en la tabla presentada a continuación.

Tabla 15.**Cambios detectados en la cobertura entre 1990-2020**

PERIODO	SIN CAMBIO	%	CAMBIO	%
1990-2000	32477.678	82.76%	6 767.877	17.24%
2000-2020	27171.767	69.24%	12 073.788	30.76%
1990-2020	25461.694	64.88%	13 783.861	35.12%

Elaborado por: La Autora, 2025

Durante el periodo 1990-2000, el 82.76% del territorio se mantuvo sin alteraciones, mientras que solo el 17.24% presentó cambios. Sin embargo, entre 2000 y 2020, los cambios se aceleraron considerablemente, reduciendo las áreas sin cambio al 69.24% y aumentando las zonas transformadas al 30.76%. En el periodo de 1990-2020, el 64.88% del área permaneció intacto, pero el 35.12% experimentó cambios significativos impulsados posiblemente por la expansión agropecuaria y el desarrollo urbano, lo que genera una presión creciente sobre los ecosistemas. Estos resultados confirman la hipótesis planteada, que proponía una reducción de al menos el 20% de la cobertura vegetal, evidenciando que la pérdida fue incluso mayor a lo esperado. Además, este dato refleja la necesidad de

implementar estrategias de manejo sostenible que equilibren el desarrollo con la conservación ambiental.

4.3. Realización de una zonificación ecológica-ambiental mediante el procesamiento de las variables biofísicas obtenidas, que sirva como base para definir estrategias de desarrollo territorial.

Con el propósito de orientar la planificación territorial y la gestión sostenible de los recursos naturales como un marco de referencia de futuras investigaciones y formulación de estrategias, se llevó a cabo la zonificación ecológica-ambiental de la parroquia Machachi. Este proceso permitió identificar y caracterizar las condiciones biofísicas y socioeconómicas del territorio e integrar dichas variables para la obtención de las zonas ecológicas – ambientales identificadas.

En este contexto, se expone la necesidad de elaborar nuevos insumos a partir de la intersección o reclasificación de las variables, por ejemplo, la capa de zonas de vida (Holdridge) que consiste en una clasificación ecológica del territorio basada en las precipitaciones para identificar los niveles de humedad del área y la generación de una capa de altitud a partir del ráster DEM para definir nuevos rangos de temperatura. En base con la pirámide de Holdridge, la intersección de estos insumos identifica las unidades ecológicas o ecosistemas potenciales, mostrando dónde cada tipo de vegetación y clima predominante podría existir.

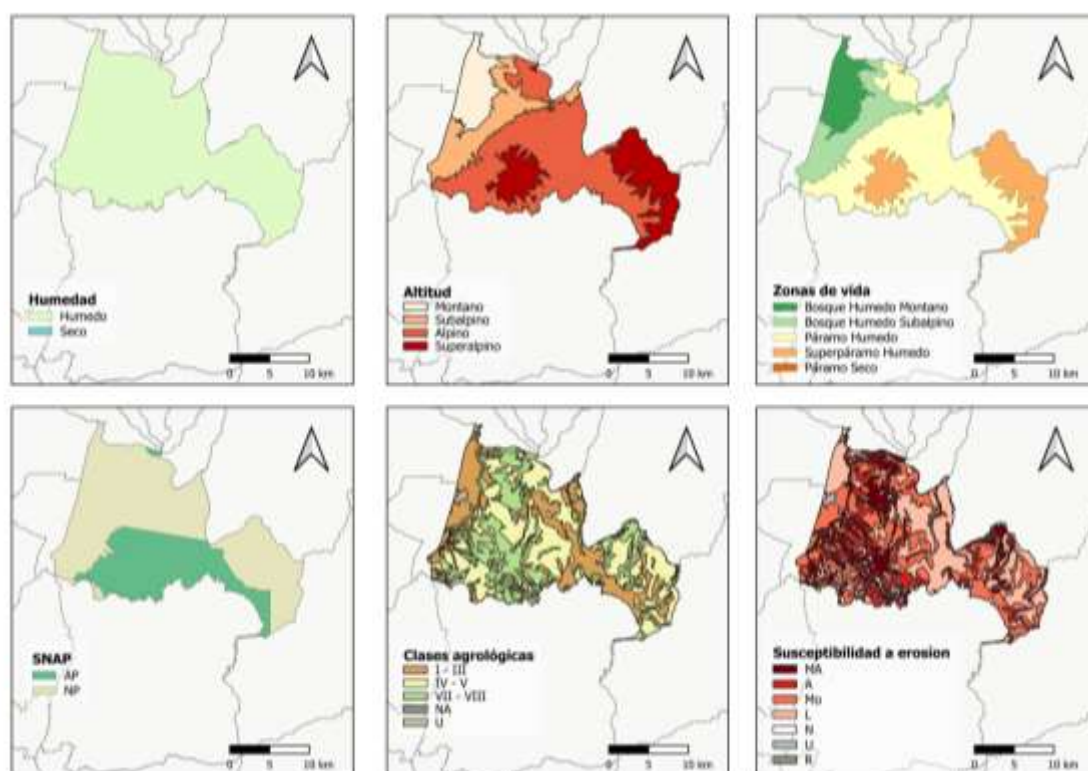
Tabla 16.
Zonas de vida de la parroquia Machachi

Zona de vida	Simbología	Precipitación (mm)	Temp. (°C)	Altitud	Área (ha)	%
Super páramos Húmedo	Sprh	1000 – 2000	0	Super alpino	8739.77	22.27
Páramo Seco	Prs	750 - 1000	0 - 3	Alpino	38.9	0.10
Páramo Húmedo	Prh	1000 - 2000	0 - 3	Alpino	19669.3	50.12
Bosque Húmedo Montano	Bhm	1000 - 2000	3 - 6	Montano	4222.85	10.76
Bosque Húmedo Subalpino	Bhsa	1000 - 2000	6 - 12	Sub alpino	6573.73	16.75
Total					39244.55	100

Elaborado por: La Autora, 2025

Los resultados muestran un predominio del Páramo Húmedo (50.12%), seguido por los Superpáramos Húmedos (22.27%) y el Bosque Húmedo Subalpino (16.75%), mientras que el Bosque Húmedo Montano representa un 10.76%. El Páramo Seco ocupa apenas el 0.10% de la parroquia. Esta distribución evidencia un claro predominio de ecosistemas altoandinos húmedos, con amplia presencia de páramos, que constituyen zonas estratégicas para la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. De igual manera, se reclasificaron diversos insumos requeridos para la zonificación, presentados a continuación.

Figura 11.
Reclasificación de variables biofísicas



Elaborado por: La Autora, 2025

Como se aprecia en la figura 11, las capas correspondientes al Sistema de Áreas Protegidas (SNAP), Clases agrológicas y Susceptibilidad a la erosión del suelo fueron sometidas a un proceso de reclasificación. Este procedimiento permitió la cuantificación de las áreas resultantes, cuyos valores se presentan en las siguientes tablas. En el caso de las áreas protegidas los resultados evidencian que el Área No Protegida (NP) concentra el 68.25% del territorio estudiado,

mientras que el Parque Nacional Cotopaxi representa el 31.10%, y el resto corresponde a Áreas protegidas (AP) menores como Pasochoa y El Boliche.

Tabla 17.

Áreas protegidas y no protegidas de la parroquia Machachi

Nombre	Simbología	Área (ha)	%
Parque Nacional Cotopaxi	AP	12206.48	31.10
Refugio De Vida Silvestre Pasochoa	AP	106.46	0.27
Área Nacional De Recreación El Boliche	AP	146.55	0.37
Área No Protegida	NP	26786.06	68.25
Total		39245.56	100

Elaborado por: La Autora, 2025

La clasificación agrológica de la parroquia Machachi evidencia la distribución del suelo según su uso potencial presentado en secciones anteriores. Predominan las tierras destinadas a pastos (42.44%) y cultivos (27.72%), seguidas de coberturas de protección (29.04%), mientras que la superficie urbana y las zonas sin uso agropecuario representan proporciones mínimas del total.

Tabla 18.

Clases agrológicas según el uso potencial de suelo de la parroquia Machachi

Clases agrológicas	Simbología	Descripción	Área (ha)	%
Cultivos	I - III	Tierras sin limitaciones	10876.95	27.72
Pastos	IV - V	Tierras con severas limitaciones, cultivables con métodos intensivos de manejo	16655.77	42.44
Protección	VII - VIII	Tierras aptas para conservación de vida silvestre	11397.74	29.04
Zona urbana	U	Área urbana	228.69	0.58
Zonas sin uso agropecuario	NA	Nieve	86.40	0.22
Total			39245.56	100

Elaborado por: La Autora, 2025

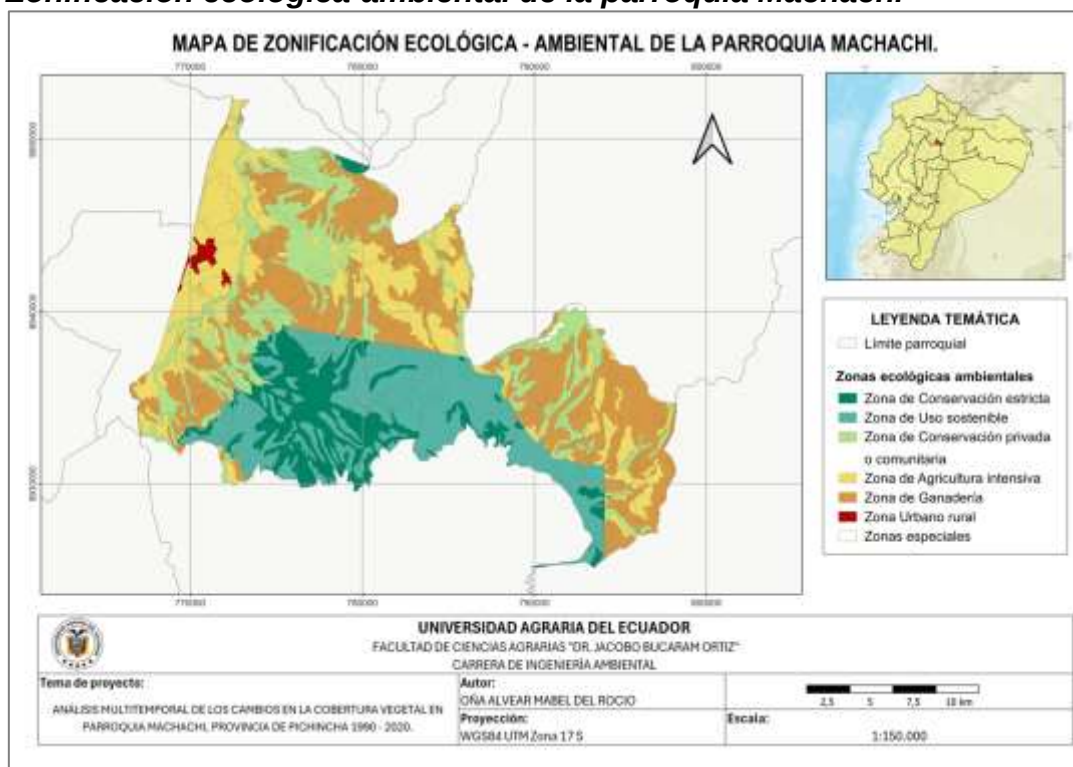
Con respecto a la distribución de la parroquia Machachi según la susceptibilidad a la erosión, se identificó que las áreas con riesgo bajo y moderado predominan, representando conjuntamente el 67.59% del territorio. Las zonas con erosión alta o severa abarcan el 31.61%, mientras que superficies como nieve, roca y urbano ocupan proporciones mínimas del total (menos del 1%).

Tabla 19.**Niveles de susceptibilidad a la erosión de la parroquia Machachi**

Susceptibilidad a la erosión	Simbología	Área (ha)	%
Severa	MA	6626.67	16.89
Alta	A	5776.77	14.72
Moderada	Mo	12778.82	32.56
Baja	L	13748.21	35.03
Nieve	N	35.91	0.09
Urbano	U	228.69	0.58
Roca	R	50.49	0.13
Total		39245.56	100

Elaborado por: La Autora, 2025

Por otra parte, la capa de uso del suelo no requirió modificaciones en cuanto a su categorización, mientras que, a partir de la capa de cobertura vegetal, se extrajeron las zonas antrópicas para generar la capa de asentamientos humanos. La integración y el traslape de todas estas variables permitió establecer de manera sistemática la zonificación ecológica-ambiental de la parroquia Machachi.

Figura 12.**Zonificación ecológica-ambiental de la parroquia Machachi**

Elaborado por: La Autora, 2025

En total se identificó siete grandes tipos de áreas que reflejan la interacción entre los sistemas naturales y los usos antrópicos del territorio. Las zonas

especiales agrupan elementos singulares del paisaje como cuerpos de agua, áreas de nieve y afloramientos rocosos, que constituyen componentes estratégicos para la regulación hídrica y la biodiversidad. En contraste, las áreas protegidas de conservación estricta corresponden a espacios destinados a la preservación de ecosistemas frágiles y con alta susceptibilidad a la erosión, mientras que las de uso sostenible permiten actividades productivas compatibles con la conservación.

En el ámbito no protegido, se distinguen las zonas de conservación privada o comunitaria, que contribuyen a la conectividad ecológica y a la protección de recursos locales, frente a usos productivos como la ganadería y la agricultura intensiva, que generan presión sobre los suelos y demandan un manejo adecuado para evitar su degradación. Finalmente, las áreas urbano-rurales representan los espacios de mayor concentración de asentamientos humanos, donde se evidencian dinámicas de expansión y transformación del paisaje natural.

Como se observa en la tabla 20, la zonificación establece un marco claro de las categorías y la interacción entre los sistemas naturales y las actividades humanas. Las Zonas de Conservación estricta (ZCE) abarcan 4 228.86 ha (10.78 %) y se concentran en ecosistemas de páramo y áreas protegidas, asegurando la preservación de la biodiversidad y la regulación hídrica, con alta susceptibilidad a la erosión (A/MA). Las Zonas de Uso sostenible (ZS) comprenden 8 230.38 ha (20.97 %), permitiendo cultivos y pastos de bajo impacto, compatibles con la conservación, en ecosistemas húmedos alpinos y superalpinos (L/Mo).

Las Zonas de Agricultura intensiva (ZA) ocupan 7 655.87 ha (19.51 %) y, junto con las Zonas de Ganadería (ZG), que abarcan 11 645.77 ha (29,67 %), representan la mayor presión sobre el territorio, asociadas a clases agrológicas con vocación productiva y con riesgo de erosión si no se aplican prácticas de manejo sostenible (L/Mo/A y L/Mo/G). Las Zonas de Conservación privada o comunitaria (ZCP) comprenden 7 168.59 ha (18.27 %) y funcionan como espacios estratégicos de conectividad ecológica y corresponsabilidad en la gestión de recursos naturales.

Las Zonas Urbanas (ZU), de 228.69 ha (0.58 %), reflejan la expansión poblacional y la transformación del paisaje, mientras que las Zonas especiales (Ze), de 86,40 ha (0,22 %), incluyen elementos singulares como cuerpos de agua, áreas de nieve y afloramientos rocosos, de alta relevancia ecológica y paisajística.

Adicionalmente, se elaboró una tabla de prioridad combinando los factores de porcentaje de territorio que ocupa cada zona (mayor extensión puede implicar

mayor impacto o necesidad de manejo) y el nivel de importancia o valor ecológico/estratégico (por ejemplo, las zonas conservación estricta y las especiales tienen alta importancia; agricultura intensiva y ganadería, moderada a baja). Por lo que se asignó un puntaje de prioridad del 1 al 5, donde 5 es la máxima prioridad, 1 es baja prioridad. Dando el siguiente resultado.

Tabla 20.

Priorización de zonas ambientales-ecológicas de la parroquia Machachi

Categoría	% del territorio	Nivel de importancia	Puntaje de prioridad
Zonas de Conservación estricta (ZCE)	10.78 %	Muy alta	5
Zonas especiales (ZE)	0.22 %	Muy alta	5
Zonas de Conservación privada/comunitaria (ZCC)	18.27 %	Alta	4
Zonas de Uso sostenible (ZS)	20.97 %	Media-Alta	3
Zonas de Ganadería (ZG)	29.67 %	Media	3
Zonas de Agricultura intensiva (ZA)	19.51 %	Media	2
Zonas Urbanas (ZU)	0.58 %	Baja	1

Elaborado por: La Autora, 2025

Las zonas de conservación estricta (ZCE) y zonas especiales (ZE) recibieron la máxima prioridad debido a su alto valor estratégico para la preservación de la biodiversidad, la regulación hídrica y la protección de elementos singulares del paisaje, pese a representar porcentajes variables del territorio. Las zonas de conservación privada o comunitaria (ZCP) fueron consideradas de alta prioridad, dado su papel en la conectividad ecológica y la corresponsabilidad en la gestión de recursos naturales. Las zonas de uso sostenible (ZS) y las zonas de ganadería (ZG) obtuvieron una prioridad media, ya que permiten actividades productivas compatibles con la conservación, pero requieren manejo adecuado para evitar degradación del suelo y pérdida de funcionalidad ecológica.

Por su parte, las zonas de agricultura intensiva (ZA) fueron clasificadas con prioridad media-baja, debido al alto impacto sobre los suelos y la necesidad de prácticas de manejo sostenible, mientras que las zonas urbanas (ZU) se asignaron con prioridad baja, considerando su reducido porcentaje territorial y su función principalmente antrópica. En conjunto, estas categorías proporcionan un marco técnico que visibiliza tanto las áreas de protección prioritaria como aquellas donde se requiere implementar medidas de manejo sostenible y planificación territorial.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran un cambio importante en la cobertura de páramo en Machachi. Aunque se conserva el 49.34% de la cobertura, el aumento del 35.12% en áreas transformadas indica que el paisaje cambió de forma significativa. Este cambio no puede considerarse menor ya que refleja un proceso continuo de transformación del territorio. El hecho de que más del 20% del área se haya modificado en las últimas tres décadas confirma que la presión humana no ha sido ocasional, sino constante y prolongada en el tiempo.

Esta situación confirma lo advertido por Hofstede et al. (2002), quienes señalaron que la degradación de los páramos ecuatorianos constituye un proceso continuo y difícil de revertir, especialmente en la región interandina. Más de veinte años después, los resultados de Machachi no muestran señales de desaceleración del fenómeno, lo que evidencia que las políticas de conservación y ordenamiento territorial no han logrado modificar de manera estructural la trayectoria de transformación del ecosistema. En este sentido, la investigación no solo confirma lo que ya se ha señalado en estudios nacionales consultados, sino que demuestra que esa situación sigue ocurriendo en la actualidad.

No obstante, el contraste con estudios desarrollados en territorios protegidos introduce una tensión relevante. Naranjo y Parra (2024), en Quimsacocha, reportan una permanencia del 82.98% del territorio sin cambios significativos y una mejora leve del NDVI. De igual forma, Herrera y Herrera (2023), en el Parque Nacional Cotopaxi, documentan dinámicas de transición que incluyen incrementos en coberturas arbustivas y forestales. La diferencia de Machachi con las áreas protegidas es que la transformación parece estar parcialmente regulada, mientras en el área analizada la expansión productiva sigue siendo dominante. Esto sugiere que la categoría de manejo y la gobernanza territorial no son variables secundarias, sino determinantes en la conservación efectiva del páramo.

Sin embargo, también es necesario reconocer los límites metodológicos del presente estudio. A diferencia de Herrera y Herrera (2023), este estudio no empleó recorridos de campo para validar las coberturas clasificadas, lo que podría restringir la precisión del análisis. Pues debemos recordar que la clasificación multitemporal permite detectar cambios en extensión superficial, pero no variaciones internas como pérdida de densidad, fragmentación o degradación funcional. En consecuencia, es posible que el deterioro ambiental esté subestimado. Esta

limitación no invalida los resultados, pero sí obliga a interpretarlos con cautela técnica. Por lo que exponer una permanencia del 64.88% del territorio sin cambios aparentes no debe interpretarse como estabilidad ecológica plena.

Por otra parte, se considera importante resaltar lo aprendido del estudio de Ramírez (2023) que demuestra que la pérdida de páramo puede ser parcialmente reversible cuando existen procesos de organización comunitaria y abandono de áreas productivas. La ausencia de una dinámica similar en Machachi apunta a que la actividad agropecuaria continua como prioridad, lo que reduce las oportunidades de regeneración natural. Por lo que lo observado² no se trata solo de un cambio en porcentajes, sino de una transformación más profunda del territorio, donde las actividades productivas siguen sustituyendo poco a poco las áreas naturales.

Los patrones detectados también coinciden con lo descrito por Quevedo et al. (2023), quienes identificaron que la expansión agrícola se concentra en zonas físicamente aptas, consolidando un proceso sistemático y no aleatorio de transformación. Esta lógica espacial se confirma en Machachi, donde la expansión agropecuaria se superpone con áreas de baja pendiente y susceptibilidad moderada a la erosión. Tal como señalan Cayambe y Simancas (2020), la degradación ambiental no ocurre de manera homogénea, sino que responde a gradientes físicos y niveles de presión antrópica claramente identificables.

La zonificación elaborada refuerza esta interpretación, pues la superposición entre áreas agropecuarias y zonas con alta susceptibilidad a la erosión (31,6 %) reflejan un conflicto de uso que incrementa el riesgo de degradación del suelo. Este hallazgo coincide con lo planteado por Grijalva y Otálvaro (2019) y Acosta y Paladines (2024), quienes sostienen que la integración de variables biofísicas en la planificación territorial es fundamental para prevenir deterioros irreversibles. En Machachi, la identificación de sectores de alta importancia ecológica con baja protección demuestra una brecha entre diagnóstico ambiental y gestión efectiva.

En conjunto, los resultados confirman que la transformación del páramo en Machachi no responde a variaciones naturales aisladas, sino a un proceso sistemático de expansión productiva sostenida en el tiempo. La permanencia parcial de coberturas naturales no compensa la magnitud de la transformación detectada. Por el contrario, evidencia una coexistencia tensionada entre conservación residual y presión agropecuaria dominante. Esta dinámica reafirma la hipótesis planteada y respalda lo señalado por Hofstede et al. (2002) y Cuesta et

al. (2014): sin mecanismos sólidos de regulación y planificación territorial, la degradación del páramo tiende a perpetuarse. En este contexto, la zonificación ambiental respaldada por monitoreo satelital continuo no es simplemente una recomendación técnica, sino una necesidad estratégica para reorientar el modelo de ocupación del territorio hacia un equilibrio más sostenible.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La caracterización biofísica y socioeconómica en la parroquia Machachi evidenció que posee una alta diversidad de condiciones naturales y humanas. Sin embargo, la expansión agrícola y pecuaria, sumada al crecimiento poblacional y a prácticas de uso del suelo poco reguladas, son los principales factores que presionan la cobertura vegetal. La interacción entre pendientes pronunciadas, suelos de alta susceptibilidad a la erosión y actividades productivas intensivas ha acelerado la degradación de ecosistemas de páramo y zonas de vegetación nativa. Estos resultados confirman que la dinámica del paisaje no puede comprenderse únicamente desde una perspectiva ambiental, sino como consecuencia de procesos socioeconómicos y de planificación territorial insuficiente.

El análisis multitemporal confirmó una reducción significativa de las coberturas naturales en Machachi, especialmente en páramos y bosques andinos, transformados principalmente en áreas ganaderas y agrícolas. La pérdida de vegetación, superior al 20% y estimada en 35.12%, valida la hipótesis inicial y evidencia una disminución de servicios ecosistémicos como la regulación hídrica y la protección del suelo. Esta dinámica constituye un indicador crítico del proceso de degradación y fragmentación que enfrentan las zonas altoandinas, impulsado por la expansión no planificada del uso del suelo, asociado a factores económicos y al incremento de la demanda de tierras productivas. Lo que resalta la necesidad de fortalecer la gestión territorial mediante estrategias de conservación y restauración ecológica.

La zonificación ecológica-ambiental constituye un instrumento técnico de alto valor para el ordenamiento territorial, al integrar de forma sistemática variables biofísicas y socioeconómicas. Este producto no busca establecer directrices normativas definitivas, sino ofrecer una base metodológica y cartográfica que sirva de soporte para la formulación de estrategias de conservación, restauración y producción sostenible. Su principal aporte radica en generar un diagnóstico espacial que puede ser articulado con los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Machachi y enriquecido mediante procesos participativos y estudios sobre el cambio de uso del suelo. En conjunto, la zonificación propuesta

representa una herramienta clave para equilibrar el desarrollo económico con la conservación ambiental y orientar una gestión territorial sostenible.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda fortalecer la planificación territorial a partir de información biofísica y socioeconómica levantada, integrando lineamientos de ordenamiento territorial bajo criterios técnicos estandarizados, así como establecer programas de reforestación con especies nativas, que ayuden a restaurar las áreas de vegetación afectadas y a recuperar la biodiversidad local. Además, es crucial promover prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la presión sobre los bosques y páramos, de modo que se evite la conversión total de ecosistemas naturales en tierras agrícolas, protegiendo al mismo tiempo la calidad del suelo y los recursos hídricos.

Para salvaguardar las áreas remanentes de vegetación nativa, se debe implementar programas de restauración ecológica en zonas críticas y establecer incentivos para la conservación de coberturas naturales, priorizando la restauración de áreas estratégicas que garanticen la permanencia de la conectividad entre estos ecosistemas, lo que les permitirá desempeñar adecuadamente su rol en la regulación hídrica y la captura de carbono. En paralelo, es fundamental fomentar investigaciones y levantamiento de información de la flora local para comprender mejor su ecología y promover su conservación, para el desarrollo de estrategias efectivas de protección y manejo del patrimonio natural de la parroquia.

Se recomienda incorporar la zonificación ecológica-ambiental de Machachi como instrumento técnico en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial, ya que proporciona una base cartográfica que integra variables biofísicas, socioeconómicas y de riesgo. Su aprovechamiento debe orientarse a equilibrar conservación y producción sostenible, priorizando las áreas frágiles y de valor estratégico como los páramos. Para garantizar su eficacia, es necesario impulsar procesos participativos con comunidades locales, que permitan legitimar las decisiones de uso del suelo y fortalecer la corresponsabilidad en la gestión de los recursos. Finalmente, se sugiere establecer un sistema de monitoreo y evaluación continua, basado en SIG y visitas de campo, que facilite el seguimiento de la dinámica territorial y la adaptación oportuna de las estrategias de manejo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P., y Paladines, J. (2024). *Zonificación de áreas con importancia ambiental, ecológica y establecer la vocación de usos para municipio de Páez del departamento del Cauca con la aplicación de SIG*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]: <https://repository.unad.edu.co/jspui/handle/10596/62375>
- Arroba, O. (2023). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal del manglar en Puerto Sabana Grande 2007, 2011, 2014, 2019 y 2022*. 2023. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ARROBA%20CABALLERO%20OLGA%20MARIUXI.pdf>
- Bravo, E. (2015). *La Diversidad Del Ecuador*. Abya-Yala. <https://abyayala.org.ec/gpd-la-biodiversidad-en-el-ecuador-9789978102121-694c38f167c77.html>
- Bustamante, M., Albán, M., y Argüello, M. (2011). *Los páramos de Chimborazo: un estudio socioambiental para la toma de decisiones*. Gobierno Autónomo descentralizado de la Provincia de Chimborazo: EcoCiencia: Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina [CONDESAN]. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec>
- Caranqui, J., Lozano, P., y Reyes. (2016). Composición y diversidad florística de los páramos en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 7(1), 33-45. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.86>
- Carrillo, G., Silva, B., Rollenbeck, R., Celleri, R., y Bendix, J. (2019). The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265(1), 30-47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.006>
- Cayambe, M., y Simancas, P. (2020). *Estudio de cobertura vegetal mediante SIG para formulación de medidas de recuperación de espacios degradados en la cuenca alta del río Jubones*. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CAYAMBE%20YANEZ%20MARIA%20PAULA.pdf>

- CEUPE. (2014). *Los sistemas de información geográfica*. European Business School: <https://www.ceupe.com/blog/los-sistemas-de-informacion-geografica.html>
- Chapa, J., Sosa, E., y Alba, R. (2008). Estudio multitemporal de fragmentación de los bosques en la Sierra Fría Aguascalientes, México. *Madera y Bosques*, 14(1), 37-52. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000100004
- Chuncho-C., y Chuncho-G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones. *Latindex*, 9(2), 73-74. https://drive.google.com/file/d/1_m4ZobqzjfgTfv2S3CvB4AljSh5IIpNS/view
- Conde, J. M. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura del suelo utilizando metodologías VCS y Corine Land Cover caso de estudio*. [Tesis de grado, Universidad de Manizales]: <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2670>
- Cruz, J. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el municipio de Popayán, Cauca*. [Tesis de grado, Universidad de Manizales]: <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2807>
- Cuesta, F., Sevink, J., Llambí, L., De Bièvre, B., y Posner, J. (2014). *Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos*. Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina [CONDENSAN].
- Dávila, Á., Cuesta, R., Villagómez, M., Fierro, D., León, F., Guerrero, k., y Vallejo, J. (2018). Aspectos físico-nautrales. En *Atlas. Espacios geográficos expuestos a amenazas naturales y antrópicas* (pp. 14-17). Instituto Geográfico Militar [IGM].
- Dudley, ,. N. (2008). *Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/PAPS-016-Es.pdf>
- Durand, G. V. (2006). Multifunctionality and rural development: a general framework. En *Multifunctional Agriculture; A new paradigm for European Agriculture and Rural Developmen* (pp. 1–18). Ashgat.

- https://www.researchgate.net/publication/258375148_Multifunctionality_and_rural_development_a_general_framework_In_Multifunctional_Agriculture_A_New_Paradigm_for_European_Agriculture_and_Rural_Development_Eds_Van_Huylenbroeck_G_Durand_G_pp_1-18_Alders
- Espinosa, J., Moreno, J., y G., B. (2022). Erosión de suelos en el Ecuador. En *Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo* (pp. 242-321). Instituto Geográfico Militar [IGM].
<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>
- Gallo, R., Gallo Restrepo, E., Nancy, M., Copete, Y., Arcadio, M., Valencia, E., . . . Minotta, V. (2014). Caracterización poblacional vista desde la perspectiva del desarrollo humano y el enfoque diferencial. *Redalyc.org*, 22(2), 360-401.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26832007009>
- Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Chimborazo. (2017). *Proyecto de Manejo de Recursos Naturales de Chimborazo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO].
<https://www.fao.org/forestry-fao/45915-0c8ea294fcc94913ff2c4ce323e0f7a06.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Cotopaxi. (2018). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial Cotopaxi 2021-2025*. GAD Cotopaxi:
https://www.cotopaxi.gob.ec/images/Documentos/PDYOT-COTOPAXI-11julio_2018.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Parroquial San Juan. (2019). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la Parroquia San Juan 2021*. GAD Parroquial San Juan:
https://gadsanjuanchimborazo.gob.ec/reports/pdot_2021.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] Pichincha. (2020). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mejía 2019 - 2023*. Sistema de Información Territorial: http://sitp.pichincha.gob.ec/intro_new/
- Grijalva, T., y Otálvaro, J. (2019). *Zonificación Ecológica-Ambiental y propuesta de manejo del cantòn Pimampiro*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]:
<https://agris.fao.org/search/en/providers/124703/records/6705145ab1dfe472e1457596>

- Herrera, H. (2013). *Páramos = agua = vida*. AIDA: <https://aida-americas.org/es/blog/p%C3%A1ramos-agua-vida>
- Herrera, L., y Herrera, N. (2022). *Evaluación multitemporal del cambio de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cotopaxi, mediante imágenes satelitales desde el año 2008 al 2020*. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/43c44f85-3177-4950-af62-393783e4c9be>
- Hofstede, R., Coppus, R., Vásconez, P., Segarra, P., Wolf, J., y Sevink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15(1), 3-18. https://www.researchgate.net/publication/260423686_El_estado_de_conservacion_de_los_paramos_de_pajonal_en_el_Ecuador
- Hofstede, R., Mena-Vásconez, P., y Suárez, E. (2023). *Los páramos del Ecuador: Pasado, Presente y Futuro*. USFQ Press. https://www.researchgate.net/profile/Robert-Hofstede/publication/371906746_Los_Paramos_del_Ecuador_pasado_presente_y_futuro/links/64ac6edcc41fb852dd62c1e8/Los-Paramos-del-Ecuador-pasado-presente-y-futuro.pdf
- Hofstede, R., Segarra, P., y & M. (2003). *Los páramos del mundo*. EcoCiencia, Global Peatland Initiative, NC - UICN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2003-081.pdf>
- Hofstede, y Llambí. (2020). *Plant Diversity in Páramo—Neotropical High Mountain Humid Grasslands* (Vol. I). Quito: Encyclopedia of the World's Biomes. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11858-5>
- Holdridge, L. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center. <https://doi.org/10.5555/19670604180>
- Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales [INEFAN]. (2018). *Manual de Zonificación Ecológica Económica del Ecuador*. Prefectura de Napo. https://sil.napo.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/Zonificacion-Ecologica-Economica-Napo.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE]. (2013). Capacidad de Uso de Tierras. Cantón Mejía. En *Proyecto de Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Escala 1:25.000* (pp. 1-63). Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE].

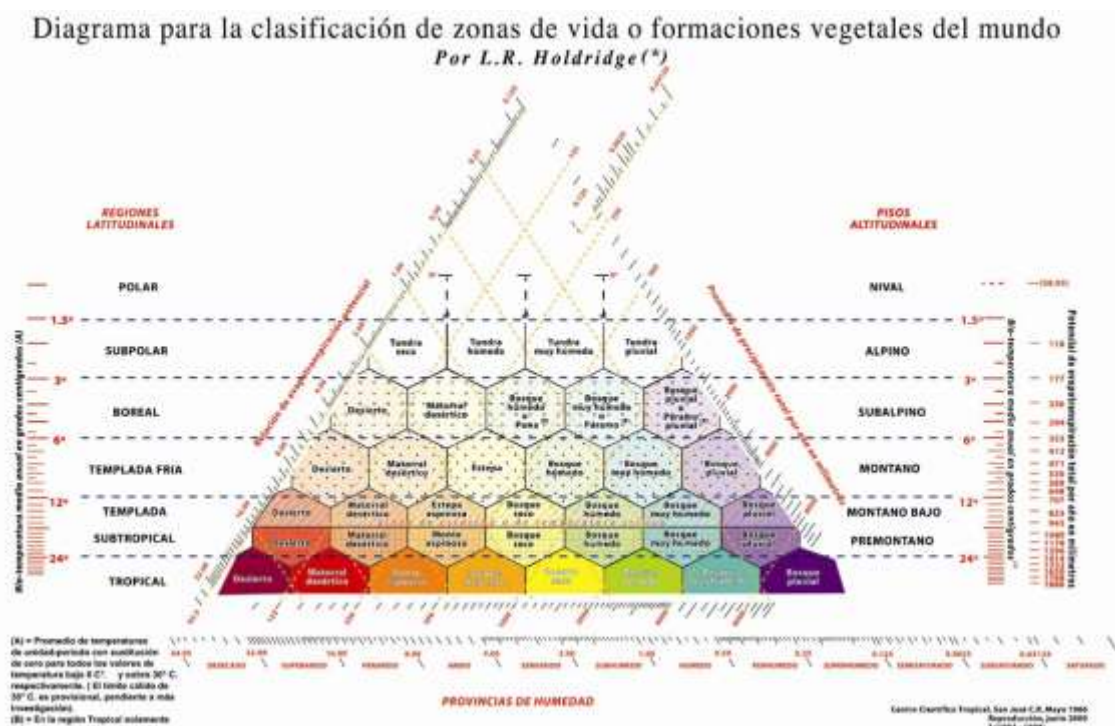
- Instituto Espacial Ecuatoriano [IEE]. (2013). Geomorfología. Cantón Mejía. En *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a escala nacional 1:25.000*.
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2013). *Proyecto de Generación de Geoinformación a Escala 1:25000 a nivel Nacional*. Gestor de Descargas IEE: https://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/mejia.html
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2020). *Ecuador en Cifras*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2025). *Censo de Población y Vivienda 2022. Ecuador en Cifras*: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/>
- Iñigo, P., Izco, J., y Jadar, O. (2010). *Flora Selecta de los Pajonales de Loja*. FlacsoAndes. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56546.pdf>
- Martin, B., Gomez., Montes, C. (2018). *Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza sociedad en un mundo cambiante*. España: Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible.
- Martinez, E. (2006). *Programa para la Conservación de la Biodiversidad, Páramos y Otros Ecosistemas Frágiles del Ecuador*. EcoCiencia: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/18042-opac>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2020). *Mapa de Cobertura y uso de la tierra y Sistemas productivos*. SIGTIERRAS: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE]. (2012). *Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador*. Proyecto Mapa de Vegetación del Ecuador: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/Documento_Metodolog+%C2%A1a_28_05_2012_v2_1.pdf
- Naranjo, T., y Parra, D. (2024). *Análisis multitemporal de los cambios en la cobertura vegetal del área nacional de recreación Quimsacocha*. Red de repositorio de acceso abierto del Ecuador [RRAAE]: https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UPS_2b0a01262f2f8d3a8d0781e82af015dd/Similar?sid=6219567&lng=sv

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (2016). *Land Cover Classification System - User Manual*. Portal del Conocimiento: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i5428e>
- Pacheco, H. (2015). *Evaluación de la desertificación en la provincia del Azuay a partir del año 1980*. Red de investigadores [Redi]: <https://redi.cedia.edu.ec/document/228742>
- Quevedo, D., Heras-Heras, Cuichan-Paucar, y Reyes-Córdova. (2023). Estudio multitemporal de la cobertura vegetal mediante sistemas de información. *Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, 9(1), 448-465. <https://doi.org/0.35381/cm.v9i1.1109>
- Ramírez, J., y Boada, E. (2023). *Análisis multitemporal del uso del suelo en el páramo de la comunidad Salamalag Chico, parroquia Guangaje, provincia de Cotopaxi 2014-2022*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]: <https://agris.fao.org/search/en/providers/125406/records/67bd8523e27dfa1251899725>
- Rojas, J. (2019). Environment, territory and landscape. Values and valuations. *AQUAE Fundación*, 60(1), 244-247. <https://www.redalyc.org/journal/3477/347766121017/html/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2024). *Ecosistemas terrestres. Indicadores de presión*. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores18/conjuntob/06_biodiversidad/06_biodiv_terrestres_presion.html
- Simbaña, C. (2016). *La Problemática de los Páramos desde el Derecho Ambiental Ecuatoriano: El Caso de los Páramos del Cantón Cayambe*. [Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador]: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/75605f87-eb46-4963-86be-1b79baa88934/content>

8. ANEXOS

Anexo N° 1:

Diagrama de Zonas de Vida (Holdridge)



Holdridge, 1967.

Anexo N° 2:

Leyenda temática de la cobertura vegetal

ID	COBERTURA VEGETAL	DESCRIPCIÓN
1	CUERPO DE AGUA NATURAL	Superficie y volumen asociado de agua estática o en movimiento. Áreas generalmente desprovistas de vegetación que, por sus limitaciones edáficas, climáticas, topográficas o antrópicas, no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal, sin embargo, pueden tener otros usos.
2	ÁREA SIN COBERTURA VEGETAL	Nieve y hielo localizados en las cumbres de las elevaciones andinas. Vegetaciones herbáceas dominadas por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, utilizadas con fines pecuarios que, para su establecimiento y conservación, requieren de labores de cultivo y manejo. Son agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizados; y excepcionalmente pueden estar asociadas con vegetación natural.
3	GLACIAR	
4	PASTIZAL	
5	TIERRA AGROPECUARIA	

ID	COBERTURA VEGETAL	DESCRIPCIÓN
6	PÁRAMO	Vegetación tropical altoandino-caracterizada por especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo propios de la zona.
7	VEGETACIÓN ARBUSTIVA	Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel.
8	VEGETACIÓN HERBÁCEA	Áreas constituidas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección
9	BOSQUE NATIVO	Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural; se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos.
10	PLANTACIÓN FORESTAL	Masa arbórea establecida antrópicamente con una o más especies forestales.
11	ÁREA POBLADA	Áreas principalmente ocupadas por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos.
12	INFRAESTRUCTURA	Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social.
13	CULTIVO ANUAL	Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año.

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 3:

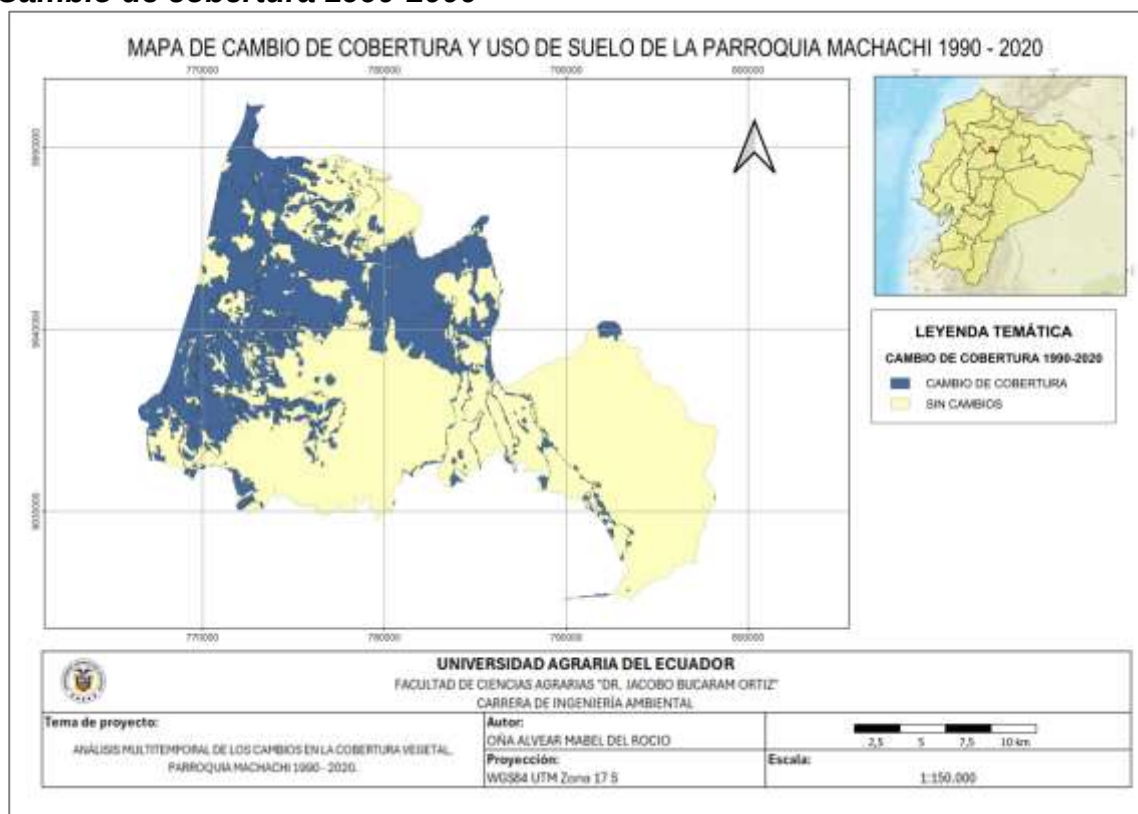
Cambio de cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990-2000

N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
1	Área sin cobertura vegetal - páramo	168.52	0.43%
2	Área sin cobertura vegetal - vegetación arbustiva	0.63	0.002%
3	Glaciar - área sin cobertura vegetal	36.09	0.09%
4	Glaciar - páramo	1.51	0.004%
5	Pastizal - mosaico agropecuario	2 117.71	5.40%
6	Pastizal - páramo	43.15	0.11%
7	Pastizal - vegetación arbustiva	103.38	0.26%
8	Pastizal - bosque nativo	89.36	0.23%
9	Pastizal - plantación forestal	193.11	0.49%
10	Pastizal - área poblada	87.35	0.22%

N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
11	Pastizal - infraestructura	14.67	0.04%
12	Pastizal - cultivo anual	718.87	1.83%
13	Tierra agropecuaria - pastizal	285.57	0.73%
14	Tierra agropecuaria - páramo	247.31	0.63%
15	Tierra agropecuaria - vegetación arbustiva	27.15	0.07%
16	Tierra agropecuaria - bosque nativo	19.87	0.05%
17	Tierra agropecuaria - plantación forestal	347.43	0.89%
18	Tierra agropecuaria - área poblada	26.61	0.07%
19	Tierra agropecuaria - infraestructura	5.84	0.01%
20	Tierra agropecuaria - cultivo anual	121.01	0.31%
21	Páramo - área sin cobertura vegetal	229.73	0.59%
22	Páramo - pastizal	274.15	0.70%
23	Páramo - mosaico agropecuario	138.03	0.35%
24	Páramo - bosque nativo	2.52	0.01%
25	Páramo - plantación forestal	337.07	0.86%
26	Páramo - cultivo anual	126.22	0.32%
27	Vegetación arbustiva - área sin cobertura vegetal	9.25	0.02%
28	Vegetación arbustiva - pastizal	120.86	0.31%
29	Vegetación arbustiva - mosaico agropecuario	181.25	0.46%
30	Vegetación arbustiva - páramo	16.90	0.04%
31	Vegetación arbustiva - plantación forestal	466.97	1.19%
32	Vegetación arbustiva - cultivo anual	29.31	0.07%
33	Vegetación herbácea - área sin cobertura vegetal	1.89	0.005%
34	Vegetación herbácea - páramo	0.18	0.004%
35	Bosque nativo - pastizal	2.43	0.01%
36	Bosque nativo - mosaico agropecuario	38.89	0.10%
37	Bosque nativo - páramo	2.61	0.01%
38	Bosque nativo - cultivo anual	1.44	0.00%
39	Plantación forestal - pastizal	118.39	0.30%
40	Plantación forestal - mosaico agropecuario	3.33	0.01%
41	Plantación forestal - páramo	6.22	0.02%
42	Plantación forestal - vegetación arbustiva	3.33	0.01%
43	Área poblada - infraestructura	1.75	0.004%
44	Infraestructura - área poblada	0.05	0.0001%
Total		6 767.88	17.24%

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 4:
Cambio de cobertura 1990-2000



Nota: El presente mapa muestra en color azul las áreas que presentaron un cambio de la cobertura y uso de suelo en la parroquia Machachi entre el periodo 1990 – 2000, lo cual abarca un área aproximada de 6 767.877 ha, equivalente al 17.24% del territorio total del área.

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 5:
Cambio de cobertura vegetal de la parroquia Machachi 2000-2020

N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
1	Natural - paramo	1.82	0.005%
2	Área sin cobertura vegetal - natural	0.07	0.0002%
3	Área sin cobertura vegetal - tierra agropecuaria	7.10	0.018%
4	Área sin cobertura vegetal - paramo	242.64	0.618%
5	Área sin cobertura vegetal - vegetación arbustiva y herbácea	12.38	0.032%
6	Área sin cobertura vegetal - plantación forestal	1.89	0.005%
7	Pastizal - natural	0.19	0.0005%
8	Pastizal - tierra agropecuaria	5 711.94	14.554%
9	Pastizal - paramo	33.50	0.085%
10	Pastizal - vegetación arbustiva y herbácea	240.59	0.613%

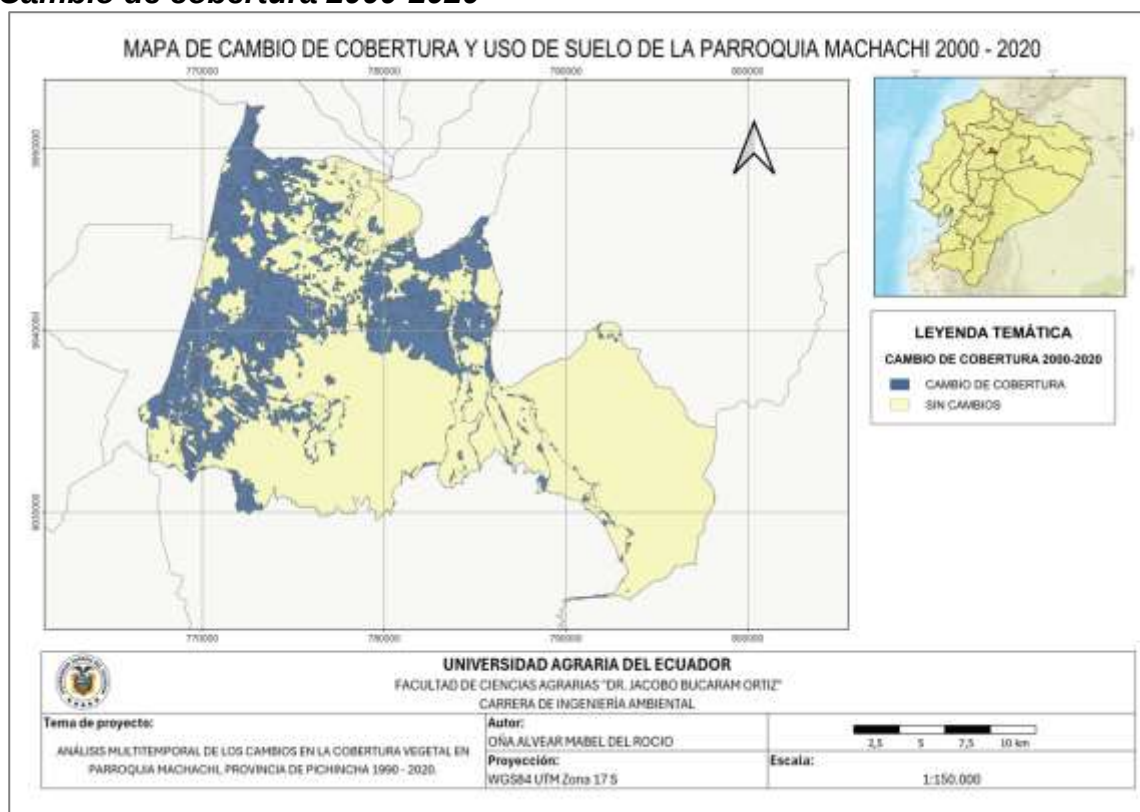
N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
11	Pastizal - bosque nativo	2.52	0.006%
12	Pastizal - plantación forestal	172.92	0.441%
13	Pastizal - área poblada	150.49	0.383%
14	Pastizal - infraestructura	49.67	0.127%
15	Mosaico agropecuario - natural	1.88	0.005%
16	Mosaico agropecuario - área sin cobertura vegetal	12.98	0.033%
17	Mosaico agropecuario - paramo	106.99	0.273%
18	Mosaico agropecuario - vegetación arbustiva y herbácea	208.83	0.532%
19	Mosaico agropecuario - bosque nativo	2.43	0.006%
20	Mosaico agropecuario - plantación forestal	137.77	0.351%
21	Mosaico agropecuario - área poblada	82.13	0.209%
22	Mosaico agropecuario - infraestructura	11.34	0.029%
23	Páramo - natural	0.81	0.002%
24	Páramo - área sin cobertura vegetal	222.18	0.566%
25	Páramo - tierra agropecuaria	1 400.20	3.568%
26	Páramo - vegetación arbustiva y herbácea	247.58	0.631%
27	Páramo - plantación forestal	184.23	0.469%
28	Vegetación arbustiva - tierra agropecuaria	98.98	0.252%
29	Vegetación arbustiva - paramo	19.12	0.049%
30	Vegetación arbustiva - plantación forestal	43.15	0.110%
31	Vegetación arbustiva - infraestructura	0.18	0.0005%
32	Vegetación herbácea - paramo	3.24	0.008%
33	Vegetación herbácea - vegetación arbustiva y herbácea	0.36	0.001%
34	Bosque nativo - área sin cobertura vegetal	9.62	0.025%
35	Bosque nativo - tierra agropecuaria	246.29	0.628%
36	Bosque nativo - paramo	0.36	0.001%
37	Bosque nativo - vegetación arbustiva y herbácea	123.38	0.314%
38	Bosque nativo - plantación forestal	102.35	0.261%
39	Bosque nativo - área poblada	1.17	0.003%
40	Plantación forestal - área sin cobertura vegetal	4.67	0.012%
41	Plantación forestal - tierra agropecuaria	393.11	1.002%
42	Plantación forestal - paramo	191.97	0.489%
43	Plantación forestal - vegetación arbustiva y herbácea	589.19	1.501%

N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
44	Plantación forestal - bosque nativo	0.54	0.001%
45	Plantación forestal - infraestructura	0.18	0.0005%
46	Infraestructura - área poblada	2.03	0.005%
47	Cultivo anual - área sin cobertura vegetal	9.17	0.023%
48	Cultivo anual - tierra agropecuaria	929.68	2.369%
49	Cultivo anual - paramo	1.80	0.005%
50	Cultivo anual - vegetación arbustiva y herbácea	30.03	0.077%
51	Cultivo anual - bosque nativo	0.90	0.002%
52	Cultivo anual - plantación forestal	8.00	0.020%
53	Cultivo anual - área poblada	2.08	0.005%
54	Cultivo anual - infraestructura	15.19	0.039%
Total		12 073.79	30.765%

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 6:

Cambio de cobertura 2000-2020



Nota: El presente mapa muestra en color azul las áreas que presentaron un cambio de la cobertura y uso de suelo en la parroquia Machachi entre el periodo 2000 – 2020, lo cual abarca un área aproximada de 12 073.788 ha, equivalente al 30.76% del territorio total del área.

Elaborado por: La Autora, 2025

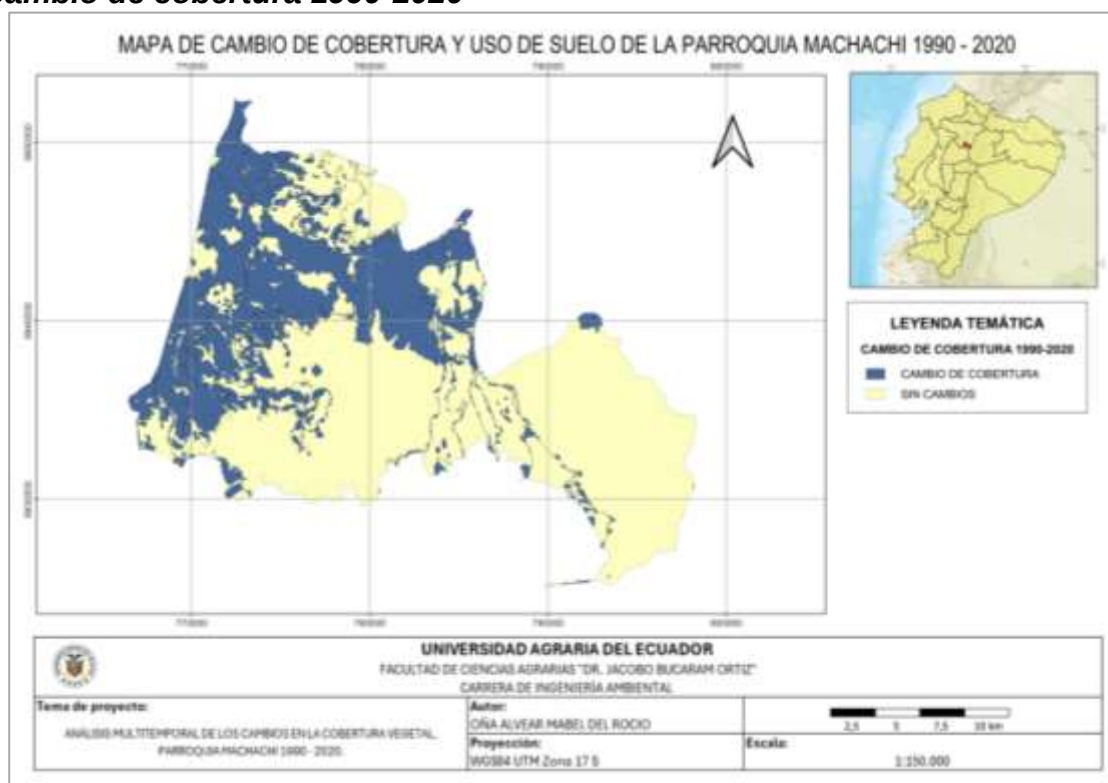
Anexo N° 7:***Cambio de cobertura vegetal de la parroquia Machachi 1990-2020***

N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
1	Área sin cobertura vegetal - natural	0.066	0.0002%
2	Pastizal - natural	0.552	0.001%
3	Tierra agropecuaria - natural	1.517	0.004%
4	Páramo - natural	0.809	0.002%
5	Glaciar - área sin cobertura vegetal	37.598	0.10%
6	Tierra agropecuaria - área sin cobertura vegetal	8.630	0.02%
7	Páramo - área sin cobertura vegetal	383.718	0.98%
8	Vegetación arbustiva - área sin cobertura vegetal	8.810	0.02%
9	Vegetación herbácea - área sin cobertura vegetal	2.067	0.01%
10	Bosque nativo - área sin cobertura vegetal	9.350	0.02%
11	Área sin cobertura vegetal - tierra agropecuaria	8.866	0.02%
12	Pastizal - tierra agropecuaria	8 138.611	20.74%
13	Páramo - tierra agropecuaria	1 679.202	4.28%
14	Vegetación arbustiva - tierra agropecuaria	253.805	0.65%
15	Bosque nativo - tierra agropecuaria	217.176	0.55%
16	Plantación forestal - tierra agropecuaria	34.445	0.09%
17	Natural - paramo	1.818	0.005%
18	Área sin cobertura vegetal - paramo	323.714	0.82%
19	Pastizal - paramo	16.042	0.04%
20	Tierra agropecuaria - paramo	90.435	0.23%
21	Vegetación arbustiva - paramo	93.378	0.24%
22	Vegetación herbácea - paramo	3.236	0.01%
23	Bosque nativo - paramo	2.427	0.01%
24	Plantación forestal - paramo	17.213	0.04%
25	Área sin cobertura vegetal - vegetación arbustiva y herbácea	14.017	0.04%
26	Pastizal - vegetación arbustiva y herbácea	291.700	0.74%
27	Tierra agropecuaria - vegetación arbustiva y herbácea	292.522	0.75%
28	Páramo - vegetación arbustiva y herbácea	256.922	0.65%
29	Vegetación herbácea - vegetación arbustiva y herbácea	0.360	0.001%
30	Bosque nativo - vegetación arbustiva y herbácea	87.993	0.22%
31	Plantación forestal - vegetación arbustiva y herbácea	145.735	0.37%
32	Pastizal - bosque nativo	9.260	0.02%
33	Tierra agropecuaria - bosque nativo	20.767	0.05%
34	Páramo - bosque nativo	1.169	0.003%

N°	Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
35	Área sin cobertura vegetal - plantación forestal	1.169	0.003%
36	Pastizal - plantación forestal	84.917	0.22%
37	Tierra agropecuaria - plantación forestal	237.910	0.61%
38	Páramo - plantación forestal	301.314	0.77%
39	Vegetación arbustiva - plantación forestal	132.385	0.34%
40	Bosque nativo - plantación forestal	123.658	0.32%
41	Pastizal - área poblada	299.787	0.76%
42	Tierra agropecuaria - área poblada	49.809	0.13%
43	Bosque nativo - área poblada	0.989	0.003%
44	Infraestructura - área poblada	0.625	0.002%
45	Pastizal - infraestructura	87.159	0.22%
46	Tierra agropecuaria - infraestructura	9.160	0.02%
47	Área poblada - infraestructura	1.049	0.003%
Total		13 783.861	35.122%

Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 8: Cambio de cobertura 1990-2020



Nota: El presente mapa muestra en color azul las áreas que presentaron un cambio de la cobertura y uso de suelo en la parroquia Machachi entre un periodo 1990 – 2020, lo cual abarca un área acumulada de 13 783.861 ha, equivalente al 35.12% del territorio total del área.

Elaborado por: La Autora, 2025

9. APÉNDICES

Apéndice N°1:

Área de las zonas ecológicas ambientales identificadas

ID	Categoría	Simbología	SNAP	Clase agrológica	Uso de suelo	Susceptibilidad a la erosión	Zonas de vida	Asentamiento humano	Área (ha)	%
1	Zonas de Conservación estricta	ZCE	AP	VII - VIII	Protección	A / MA	Húmedo Alpino / Superalpino	NA / Wn	4228.85	10.78
2	Zonas de Uso sostenible	ZS	AP	I - V	Cultivos / Pastos	L / Mo	Húmedo Alpino / Superalpino	NA	8230.38	20.97
3	Zonas de Agricultura intensiva	ZA	NP	I - III	Cultivos	L / Mo / A	Húmedo Montano / Subalpino / Alpino / Superalpino	A / NA	7655.86	19.51
4	Zonas de Ganadería	ZG	NP	IV - V	Pastos	L / Mo / G	Húmedo Montano / Subalpino / Alpino / Superalpino	A / NA	11645.77	29.67
5	Zonas de Conservación privada o comunitaria	ZCP	NP	VII - VIII	Protección	A / MA	Húmedo Montano / Subalpino / Alpino / Superalpino	A / NA	7168.59	18.27
6	Zonas Urbanas	ZU	NP	U	U	A	Húmedo Montano / Subalpino	A	228.69	0.58
7	Zonas especiales	ZE	NP	NA	N, R, Wn	A / R	Superalpino / Alpino	NA	86.40	0.22
Total									39244.55	100

Elaborado por: La Autora, 2025