



## CAMBIO DE USO DEL SUELO Y DINÁMICA DE FRAGMENTACIÓN EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO - ECUADOR, AÑOS: 2000 - 2020: UN ENFOQUE BASADO EN ANÁLISIS MULTITEMPORAL VECTORIAL

Danilo Yáñez-Cajo

Docente - Investigador Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
dyanezc@uteq.edu.ec  
<https://orcid.org/0009-0005-4641-7543>

Erika Alexandra Quiñonez Campos  
Consultora Independiente  
Universidad Central del Ecuador  
erikalexqc@gmail.com

Ronald Oswaldo Villamar-Torres

Docente - Investigador Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo  
rvillamart@uteq.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-2511-1789>

Ezequiel Zamora-Ledezma

Grupo de Investigación de Funcionamiento de Agroecosistemas y Cambio Climático  
Docente - Investigador Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad Técnica de Manabí  
ezequiel.zamora@utm.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0002-5315-2708>

**Autor para correspondencia:** [ezequiel.zamora@utm.edu.ec](mailto:ezequiel.zamora@utm.edu.ec)

**Recibido:** 05/04/2024

**Aceptado:** 07/05/2025

**Publicado:** 07/07/2025

### RESUMEN

En los estudios del uso de suelo, el análisis multitemporal es una técnica crucial para identificar y cuantificar las transformaciones que sufre el territorio, lo que permite comprender la situación actualizada del mismo y sirve como herramienta de toma de decisiones. Para este estudio, se seleccionó la provincia de Chimborazo - Ecuador al tener un amplio conocimiento y datos de esta provincia, se recopiló geoinformación vectorial sobre el uso del suelo escala 1:250.000 de dos temporadas: 2000 a 2020, manteniendo la misma escala para estandarizar la relación con el catálogo de objetos nacional en ambas temporadas, posteriormente se generó un diagrama de flujos de insumos cartográficos, geoprocesos y productos, consultando un algoritmo a una inteligencia artificial, el cual posteriormente fue desarrollado en Python y QGIS para determinar el área que sufrió transformación de uso del suelo dentro de estos dos periodos, determinada el área de cambio, se procedió a cruzarla con un insumo escala 1:25.000 con el fin de conocer el estado del uso del suelo a una escala de mayor resolución. Posteriormente con el uso de esta información, se generaron estadísticos descriptivos, para presentar información de las superficies del uso del suelo al año 2021, además, se realizó un análisis de fragmentación, con el uso de un coeficiente de fragmentación basado en las variables de forma y superficie, para conocer el nivel de fragmentación de las coberturas. Se determinó las superficies de páramo y tierras agropecuarias como las predominantes en la provincia, pero la superficie de mayor transformación en este periodo de 20 años es el páramo, el cual ha



sufrido una fuerte intervención de la superficie productiva, además se analizaron otros ecosistemas que se encuentran perdiendo superficie como los glaciares, etc, además, con el análisis de fragmentación de coberturas, ha determinado que las coberturas en su mayoría se encuentran en un rango de poca fragmentación, lo que indica una menor dispersión y mayor conectividad ecológica.

**Palabras clave:** cambio de uso de suelo, análisis multitemporal, geoinformación, fragmentación, Chimborazo.

## **LAND USE CHANGE AND FRAGMENTATION DYNAMICS IN CHIMBORAZO - ECUADOR, YEARS: 2000 - 2020: AN APPROACH BASED ON MULTITEMPORAL VECTOR ANALYSIS.**

### **ABSTRACT**

In land use studies, multitemporal analysis is a crucial technique to identify and quantify the transformations that a territory undergoes, allowing for an updated understanding of its current situation and serving as a decision-making tool. For this study, the province of Chimborazo - Ecuador was selected due to extensive knowledge and data available for this province. Vector geoinformation on land use at a 1:250,000 scale for two periods (2000 to 2020) was collected, maintaining the same scale to standardize the relationship with the national object catalog in both periods. A flow diagram of cartographic inputs, geoprocesses, and products was then created by consulting an algorithm from an artificial intelligence, which was subsequently developed in Python and QGIS to determine the area that underwent land use transformation within these two periods. After determining the change area, it was cross-referenced with a 1:25,000 scale input to examine the land use status at a higher resolution. Subsequently, using this information, descriptive statistics were generated to present land use surface data for the year 2021. Additionally, a fragmentation analysis was performed using a fragmentation coefficient based on shape and surface variables to assess the fragmentation level of the land covers. The surfaces of páramo and agricultural lands were determined as the predominant ones in the province, but the area that underwent the most transformation over the 20-year period was the páramo, which has suffered significant intervention in the productive surface. Other ecosystems, such as glaciers, which are also losing surface area, were analyzed. Furthermore, the land cover fragmentation analysis determined that most of the land covers are in a low fragmentation range, indicating less dispersion and greater ecological connectivity.

**Keywords:** land use change, multitemporal analysis, geoinformation, fragmentation, Chimborazo.

### **INTRODUCCIÓN**

El cambio de uso del suelo y la fragmentación del paisaje son procesos críticos impulsados por actividades humanas como la agricultura, la ganadería, la expansión urbana y la extracción de recursos naturales (Cárcamo & Ayuga, 2015). Estos fenómenos han transformado drásticamente los ecosistemas terrestres, reduciendo la cobertura forestal, degradando los hábitats naturales y afectando la



biodiversidad y los servicios ecosistémicos esenciales (Yáñez-Cajo et al., 2022). En América Latina, estas dinámicas han tenido especial relevancia en países como Brasil, México y Costa Rica, donde la deforestación y la fragmentación han alterado más del 50% de la cobertura vegetal original. (Condori Luna et al., 2018)

La fragmentación del paisaje, entendida como la división de áreas naturales en porciones más pequeñas y aisladas, genera múltiples consecuencias negativas. Estas incluyen la pérdida de conectividad ecológica, el aislamiento de especies y la intensificación de los efectos de borde. Asimismo, los cambios en el uso del suelo, como la eliminación de árboles para actividades agrícolas o pecuarias, contribuyen a la degradación del suelo, el aumento de gases de efecto invernadero y la modificación de microclimas, exacerbando los efectos del cambio climático. (Hobbs, 2001)

En este contexto, el análisis multitemporal mediante técnicas de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG) se presenta como una herramienta clave para identificar y cuantificar estos cambios en el tiempo y el espacio (Greenberg et al., 2005). Estas tecnologías permiten un monitoreo eficiente de grandes extensiones de terreno a bajo costo, proporcionando información crucial para el diseño de estrategias de restauración y conservación (Hegarat-Masclé et al., 2000). Además, el uso de análisis espaciales y modelos estadísticos refuerza la capacidad de comprender los patrones y causas del cambio de uso del suelo. (Zhou et al., 2017)

En la provincia de Chimborazo, Ecuador, el cambio de uso del suelo ha sido significativo en las últimas dos décadas, impulsado principalmente por la expansión agrícola y ganadera (Lozano et al., 2018). Según Caranqui et al., 2016, estas actividades han resultado en una pérdida significativa en la biodiversidad botánica, concluyendo que la diversidad se encuentra entre media a baja, según los índices de diversidad, esto contribuye a la sensibilidad y fragmentación de ecosistemas clave; además, existen pronósticos mediante modelamientos de cambio climático de esta provincia, que para el 2050 existirán variaciones del clima, como reducción de la precipitación en subcuencas y aumento de la temperatura general. (Bustamante Calderón, 2017)

Este estudio tiene como objetivo analizar los cambios de uso del suelo y su impacto en la fragmentación del paisaje en la provincia de Chimborazo durante el periodo 2000-2020, mediante el uso del análisis multitemporal con insumos vectoriales, técnicas cartográficas, análisis espaciales y estadísticas descriptivas, que servirán como elementos técnicos para identificar áreas posibles para la restauración y



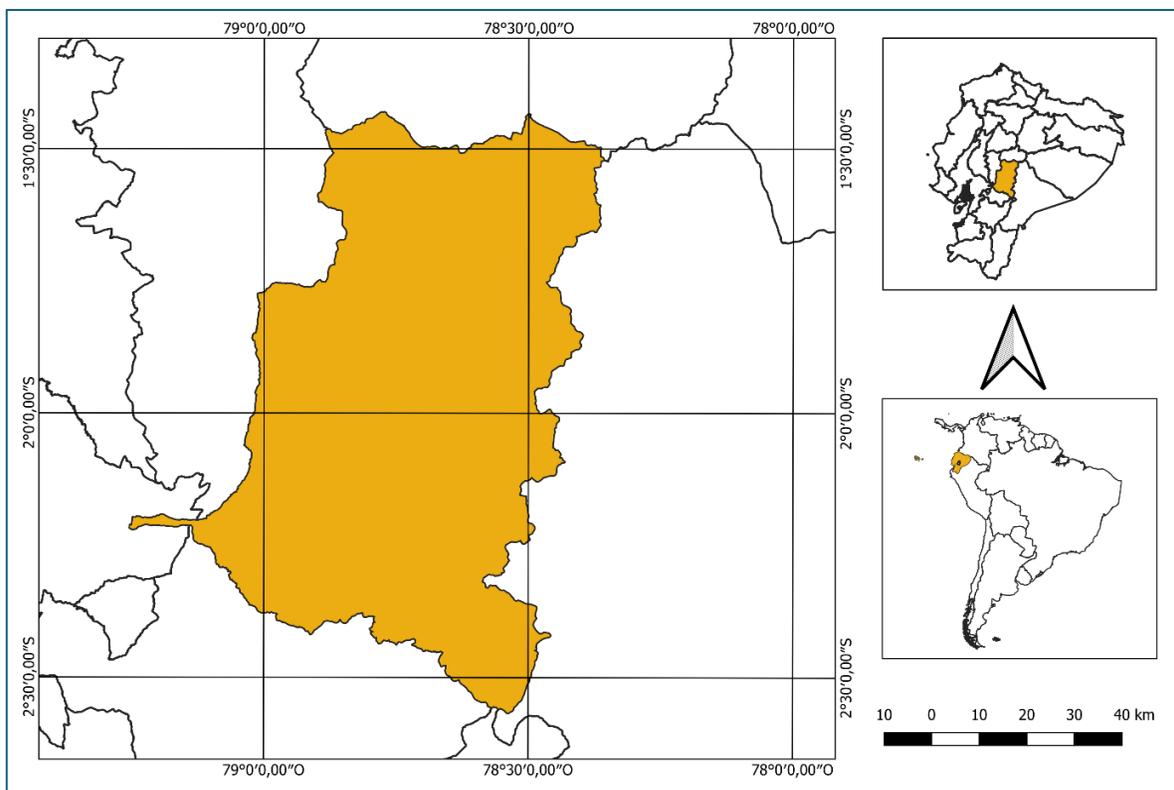
conservación, además de una base técnica para informar a las autoridades y apoyar el desarrollo de políticas públicas orientadas al manejo sostenible del territorio y la conservación de los recursos naturales.

## METODOLOGÍA

### Área de Estudio

La provincia de Chimborazo se encuentra en el centro del callejón interandino de Ecuador: lat  $1^{\circ} 58' 26.27''$  S; long  $78^{\circ} 43' 06.07''$  O (figura 1), extendiéndose desde el subtrópico de Cumandá a 120 msnm hasta la cima del volcán Chimborazo a 6263 msnm, considerado el punto más cercano al sol desde el centro de la Tierra (Samaniego et al., 2012), abarca una superficie de 6.495,44 km<sup>2</sup> (649.543,88 ha) y distribuidos en diez cantones y 61 parroquias, su geografía se caracteriza por un graben central, flanqueado por la Cordillera Central al oeste y la Cordillera Oriental al este, configurando una región de valles donde se concentra la mayoría de los asentamientos humanos. (Hervas et al., 2021)

**Figura 1.** Ubicación de la provincia de Chimborazo - Ecuador, en relación con su posición en Latinoamérica



El clima de Chimborazo es variado debido a su topografía, la precipitación tiene un patrón bimodal, con picos en marzo (60-90 mm) y octubre (50-70 mm), mientras que agosto es el mes más seco (10-20 mm), las zonas de mayor pluviosidad, como Pallatanga, alcanzan hasta 200 mm, en contraste con Guano, que presenta una media de 57 mm. Las temperaturas también varían con la altitud, registrándose



valores más bajos, entre 9°C y 10°C, en zonas elevadas como San Juan de Riobamba y Palmira, mientras que las áreas más cálidas, como Cumandá, alcanzan hasta 24°C (Bustamante Calderón, 2017), estas condiciones climáticas y topográficas hacen de Chimborazo una región de gran diversidad ambiental y desafíos territoriales.

### Datos espaciales

El presente estudio, analiza los cambios en el uso del suelo y su evolución temporal durante el período de 2000 a 2021, para este propósito se utilizó geoinformación vectorial generada en el proyecto SUIA del Ministerio del Ambiente, Agua y transición ecológica de Ecuador (Ministerio del Ambiente de Ecuador, 2024), obtenidas a través de la plataforma del Portal Interactivo, esta información fue sometida a preprocesamiento como corte de la provincia, depuración de polígonos de superficies menores al área mínima cartografiable, que para la escala 1:250.000 es de 1km<sup>2</sup> y validación, incluyendo la transformación de algunos atributos para estandarizar la escala con el catálogo de objetos nacional (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2017), además, se georreferenciaron datos espaciales que fueron recopilados por varios periodos de años de visitas técnicas, con el fin de hacer un control de las coberturas.

### Diagrama de geoprocesos

Para desarrollar un diagrama de flujo que sirva como algoritmo para ejecutar un análisis multitemporal vectorial, consideramos seguir los siguientes procedimientos: Se empezó por la geoinformación vectorial de Uso del suelo de la provincia de Chimborazo a escala 1:250.000 (años 2000 - 2020), en este punto de partida del análisis, se recopilan datos espaciales vectoriales sobre el uso del suelo para un rango temporal de 20 años (2000-2020) a una escala de 1:250.000, que servirá como base para detectar los cambios; relación de los objetos geográficos con el catálogo de objetos nacional, en este caso de Ecuador (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2017), este proporciona un marco de referencia estándar para clasificar los diferentes tipos de uso del suelo en el contexto del territorio de la provincia, asegurando la coherencia y la uniformidad en el análisis; estandarización de escalas y atributos de insumos (2000-2020), los datos son ajustados para coincidir con las escalas y atributos requeridos en el análisis, asegurando compatibilidad y precisión temporal (2000-2020).

Intersección de atributos nivel 4 del catálogo de objetos a escala 1:250.000 entre las capas de uso del suelo 2000 - 2020, se realiza un geoproceso de intersección, este proceso permite identificar relaciones y superposiciones clave entre los datos, este proceso se lo realiza mediante el geoproceso de “intersección” el cual se



presenta en cualquier software geográfico, para este estudio se utilizó QGIS (QGIS Development Team, 2024), esto permite producir una visión integrada de las coberturas de suelo en diferentes momentos del tiempo.

Determinación de áreas de cambio, este geoproceso determina las áreas de cambio se cobertura de uso del suelo de los años 2000 al 2020, esto se logra en Python con el uso de un script, este permite identificar de manera automatizada los cambios entre las coberturas del suelo de ambas temporadas, este paso incluye asistencia de Chat GPT para generar o mejorar el código requerido; se genera un nuevo producto de geoinformación de zonas de cambio de uso del suelo (escala 1:250.000), las áreas donde se han detectado cambios en el uso del suelo son identificadas y almacenadas, generando una base de datos espacial precisa a escala 1:250.000.

Intersección de atributos nivel 4 a nivel 1, determinada el área de cambio, se cruzan datos con diferentes niveles de detalle, nivel 4 y nivel 1 del catálogo de objetos, que se encuentran relacionados con las escalas 1:250000 y 1:25000 respectivamente, lo que permite refinar la información y garantizar que los análisis sean lo más precisos posible; como resultado de este proceso se obtiene un segundo producto de geoinformación de uso del suelo año 2021 escala 1:25.000; este nuevo insumo representa el uso del suelo con énfasis en las áreas donde se identificaron cambios, esta vez con mayor resolución.

Identificación y exportación de datos de vegetación natural, los datos resultantes se clasifican con el uso de una identifican con el uso de una calculadora de identificación de objetos, seleccionando únicamente los objetos geográficos de vegetación natural, para posteriormente exportarlos, esto genera un nuevo producto que es la geoinformación temática de vegetación y ecosistemas naturales (escala 1:25.000)

Cálculo de coeficientes de forma y tamaño, al último producto de geoinformación, se calcula información sobre tamaño y forma de las áreas de cambio, proporcionando métricas útiles para comprender la fragmentación y distribución espacial:

Coeficiente de tamaño: para determinar la métrica de tamaño se consideró el área calculada de cada uno de los polígonos que se obtuvieron a través de análisis multitemporal, se creó un nuevo campo con el código CT (Coeficiente de tamaño) en la tabla de atributo, se calcula la superficie, en este caso hectáreas. Para posteriormente clasificarlos en categorías de acuerdo al tamaño del polígono



indicado de acuerdo a los valores de la siguiente tabla 1, para después realizar el categorizado en base a los criterios de tamaño. (Siordia & Fox, 2013)

**Tabla 1. Rangos y ponderación de coeficiente de tamaño**

Rango de superficie	Peso	Nivel
< 5	1	Bajo
> 5 y ≤ 20	2	Medio
> 20	3	Alto

El cálculo de la métrica de forma (CF) se llevó a cabo considerando la relación entre el área y el perímetro, se estableció un rango máximo de ponderación basado en el valor máximo de esta relación, junto con los valores mínimo y máximo correspondientes, a medida que la relación área-perímetro aumenta, los polígonos presentan una mayor regularidad (Curran, 1997), lo que reduce la probabilidad de fragmentación, este análisis se realizó utilizando la calculadora de campos en QGIS, aplicando la siguiente fórmula:

$$F = \frac{(A/P - P_1) * N}{(P_2 - P_1)}$$

Donde:

A/P: relación Área/Perímetro

P1: relación Área/Perímetro, más baja de la serie de polígonos

P2: relación Área/Perímetro, más alta de la serie de polígonos

N= Valor más alto del rango de ponderación.

Posteriormente se categorizan los valores resultantes y se ponderan acorde a los criterios presentados en la tabla 2:

**Tabla 2. Rangos y ponderaciones de valores obtenidos en coeficiente de forma**

Relación	Rango de peso	Peso	Nivel
Polígonos con poca relación	≤ 1	1	Bajo
Polígonos con mediana relación	> 1 y ≤ 2	2	Medio
Polígonos con gran relación	> 2	3	Alto

Para finalizar, tras calcular los coeficientes de forma y tamaño, cada uno ponderado con los pesos asignados, se procede a sumar estos valores, el resultado se incorpora en un nuevo campo dentro de la tabla de atributos, definiendo así el coeficiente de fragmentación, este coeficiente se utiliza para clasificar los niveles de fragmentación de la vegetación que ha variado en el periodo de 20 años en la provincia de Chimborazo, resultado de proceso se obtiene el producto final que es

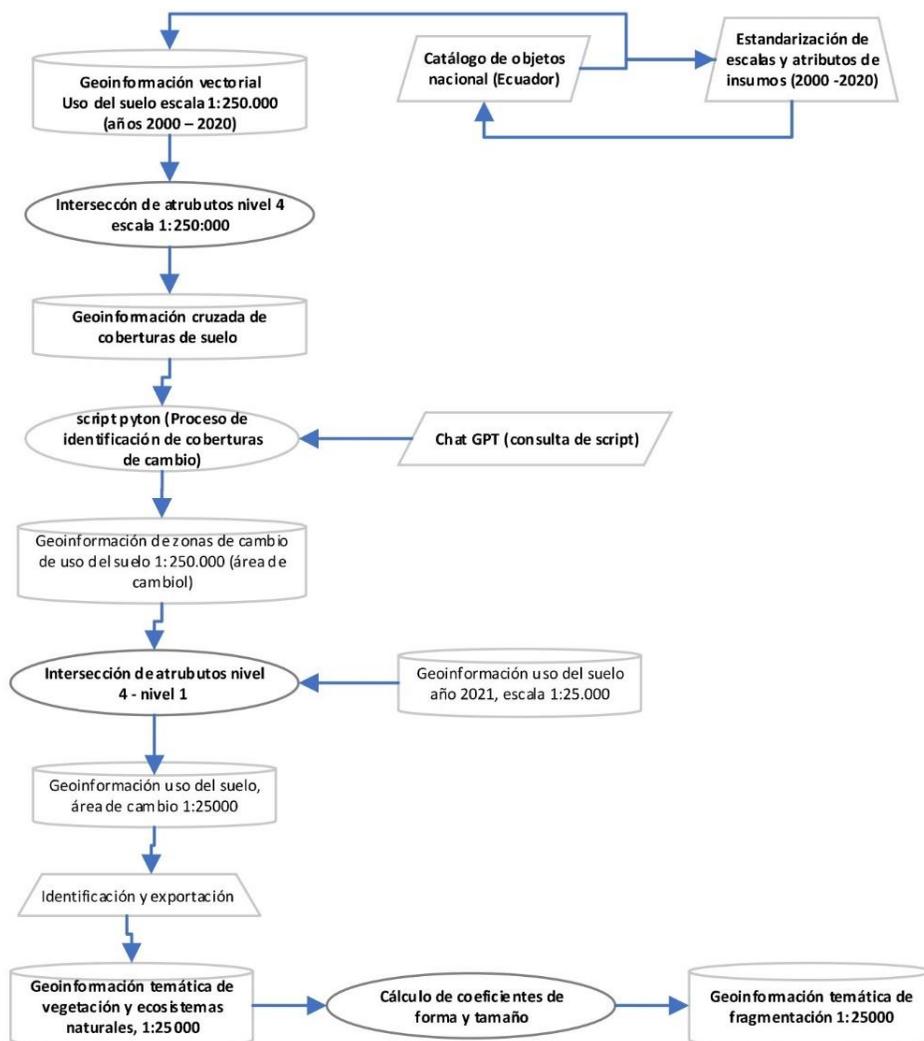


la geoinformación temática de fragmentación escala 1:25.000, la cual contiene información temática sobre la fragmentación del paisaje, esencial para evaluar el impacto de los cambios en el uso del suelo sobre la estructura ecológica.

**Tabla 3.** Clasificación del Paisaje según el Coeficiente de Fragmentación, clasifica el grado de fragmentación del paisaje en función del valor del coeficiente de fragmentación.

Coeficiente de fragmentación	Clasificación
$\leq 2$	Altamente fragmentado
$>2$ y $\leq 4$	Medianamente Fragmentado
$>4$	Poco Fragmentado

**Figura 2.** Diagrama de flujo de procedimientos para análisis multitemporal vectorial del uso del suelo y fragmentación de la provincia de Chimborazo



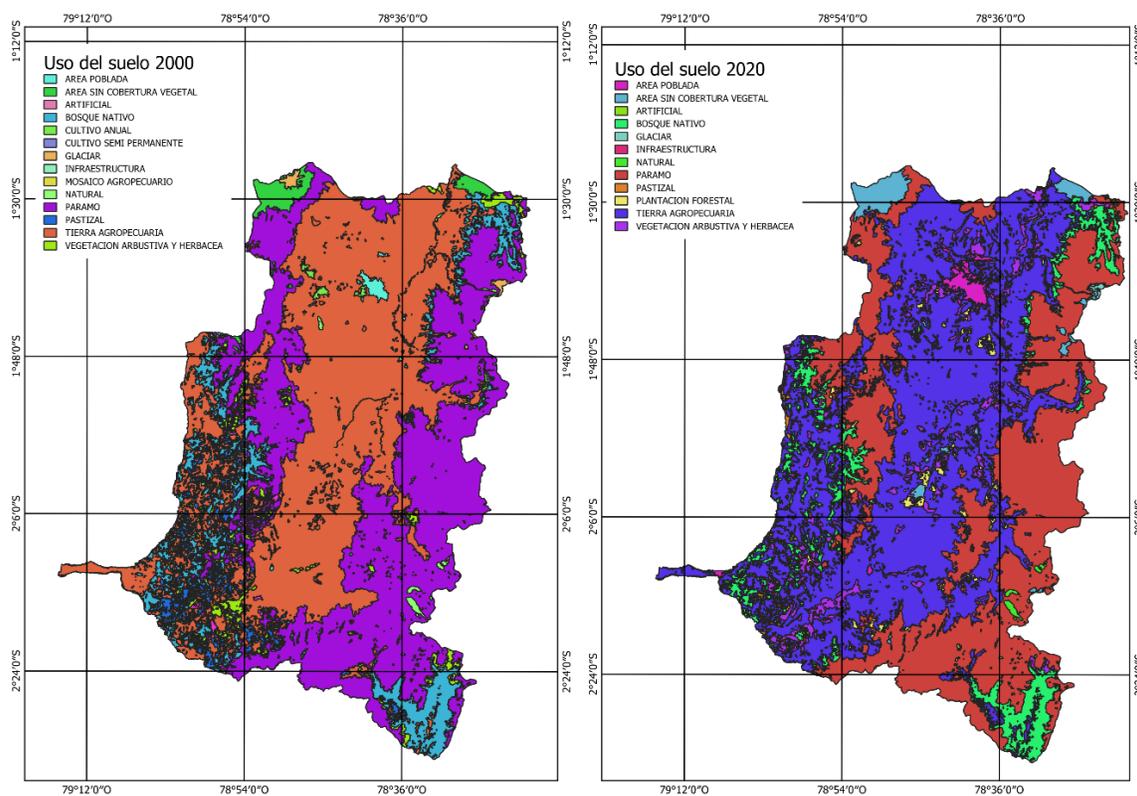
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Realizando una comparación entre períodos (2020 y 2000) sobre la cobertura del suelo en diferentes tipos de vegetación o uso del suelo y la comparativa de los datos geospaciales que reflejan transformaciones importantes en el uso del suelo



y sus implicaciones ecológicas. A través de este análisis, se destacan las variaciones significativas en la extensión de diversas coberturas del suelo, lo que proporciona información relevante sobre las dinámicas ambientales y la influencia de las actividades humanas en el paisaje (Figura 3).

**Figura 3.** Mapas de Uso del Suelo en 2000 y 2020: Comparación Espacial, presenta los cambios en el uso del suelo entre los dos periodos de análisis, permitiendo observar las variaciones espaciales en las diferentes coberturas del suelo.



La categoría de tierra agropecuaria mostró un leve aumento en su superficie, pasando de 290.346,05 ha en el año 2000 a 306.115,21 ha en 2020. Este incremento es indicativo de la expansión de las actividades agrícolas en la región, reflejando la conversión de tierras para fines agropecuarios. Esto concuerda con varios trabajos como (De la Cruz Burgos & Muñoz García, 2016; Muñoz et al., 2009; Zavala Muñoz, 2016), en los cuales sus estudios revelan un incremento anual significativo de tierras agropecuarias, atribuido a la expansión de la frontera agrícola en zonas anteriormente dedicadas coberturas naturales, todos ellos destacan cómo las herramientas SIG fueron fundamentales para identificar áreas de conversión y su impacto socioeconómico en las comunidades locales, el análisis detallado de datos geoespaciales permitió comprender mejor los cambios en el uso del suelo y planificar estrategias de ordenamiento del territorio.

Por otro lado, el páramo, uno de los ecosistemas más extensos de la provincia, este experimentó una disminución en su área, de 239.995,06 ha en 2000 a 217.740,25 ha en 2020, esta reducción sugiere alteraciones tanto por factores



naturales como por la presión de actividades humanas que han afectado su integridad. Esto concuerda con muchos estudios sobre la pérdida de superficie de páramos, debido a varios aspectos de presión antrópica, (Thompson et al., 2021) cuantifica la pérdida de superficie de páramos y sus impactos negativos sobre la pérdida de carbono almacenado en el suelo, además de las posibles presiones a nivel social que esto puede derivar, (García et al., 2020), menciona las graves circunstancias a la que puede acarrear la pérdida de páramos con la generación de recursos hídricos, motivo por el cual este estudio debe ser considerado por los tomadores de decisiones.

El análisis también muestra un aumento en el área de sin cobertura vegetal, pasando de 10.751,83 ha en 2000 a 14.081,2 ha en 2020, este fenómeno podría estar relacionado con procesos de desertificación o pérdida de vegetación debido al cambio climático, como lo enfatiza (Molina Benavides et al., 2019) el cual cuantifica los efectos del cambio climático en la desertificación del páramo, sostenido también por (Sabogal, 2023), ambos trabajos coinciden en señalar que los países ecuatoriales están enfrentando una creciente desertificación impulsada tanto por el cambio climático como por actividades humanas insostenibles, ambos destacan la importancia de implementar políticas sostenibles y prácticas adaptativas para preservar estos ecosistemas críticos.

La conservación y restauración de los páramos no solo es esencial para la biodiversidad, sino también para las comunidades humanas que dependen de los servicios ecosistémicos que ofrecen. En nuestro resultado, se explica un posible cambio en las condiciones ambientales y el uso del suelo. En contraste, la cobertura de vegetación arbustiva y herbácea experimentó un aumento considerable, de 24.801,69 ha a 35.279,89 ha, lo que sugiere una regeneración natural en áreas previamente degradadas o una expansión de vegetación secundaria, posiblemente favorecida por las condiciones del entorno.

La superficie ocupada por el bosque nativo mostró una disminución de 54.843,75 ha en 2000 a 48.692,79 ha en 2020, lo que refleja la pérdida de estos ecosistemas debido a la conversión de tierras principalmente para la agricultura y la urbanización, estos resultados contrastan la obra de (Vásquez, 2008), el cual identifica una disminución en la conectividad entre los bosques costeros y andinos en Sudamérica, debido a la fragmentación causada por actividades humanas como la deforestación y la expansión urbana. Este proceso ha reducido el tamaño medio de los parches boscosos, limitando los corredores ecológicos esenciales para la biodiversidad.



En cuanto a los pastizales, la reducción fue igualmente significativa, pasando de 17.786,57 ha en 2000 a 5.516,2 ha en 2020, este descenso podría estar relacionado con la transformación de tierras para otros usos, como la agricultura intensiva y la expansión urbana.

Por otro lado, las áreas pobladas mostraron un crecimiento considerable, pasando de 2.487,81 ha en 2000 a 8.759,16 ha en 2020, este aumento es un claro indicio de la expansión urbana y de la infraestructura en la región, reflejando la tendencia hacia un mayor asentamiento humano y desarrollo de infraestructura en el territorio, esto demuestra las hipótesis de espacio y expansión urbana que proponen: Ángel et al. (2007); Xiao et al. (2006), estos estudios resaltan la importancia de la tecnología en la planificación urbana y la gestión de recursos naturales en un contexto de cambio climático, la implementación de SIG y sensores remotos se presenta como una herramienta clave para abordar los desafíos actuales y futuros de la expansión urbana.

Las áreas de uso artificial también mostraron un incremento moderado, pasando de 36,17 ha en 2000 a 52,43 ha en 2020, lo que puede estar relacionado con la expansión de áreas urbanas y rurales. El área destinada a infraestructura experimentó un aumento significativo, de 41,72 ha en 2000 a 406,41 ha en 2020, lo que subraya la expansión de la infraestructura tanto en áreas urbanas como rurales.

En cuanto a los glaciares, la superficie ocupada por ellos experimentó una notable reducción, de 1.736,31 ha en 2000 a 418,43 ha en 2020. Este retroceso es indicativo del impacto del cambio climático y de la disminución de los glaciares en la región, este indiscutible efecto concuerda con la mayoría de los trabajos que miden el nivel de impacto del cambio climático sobre los glaciares de los Andes, (Cuesta et al., 2019; Escanilla-Minchel et al., 2020; Turpo Cayo et al., 2022).

Estos artículos documenta tres décadas de pérdida acelerada de glaciares tropicales en los Andes, utilizando tecnologías SIG. Concuerdan con nosotros en los resultados que los glaciares están desapareciendo a tasas alarmantes, actuando como indicadores clave del cambio climático en los trópicos, este retroceso tiene implicaciones críticas para los recursos hídricos, ya que los glaciares ya no pueden cumplir su función reguladora, poniendo en riesgo la disponibilidad de agua en las regiones montañosas y las áreas río abajo.

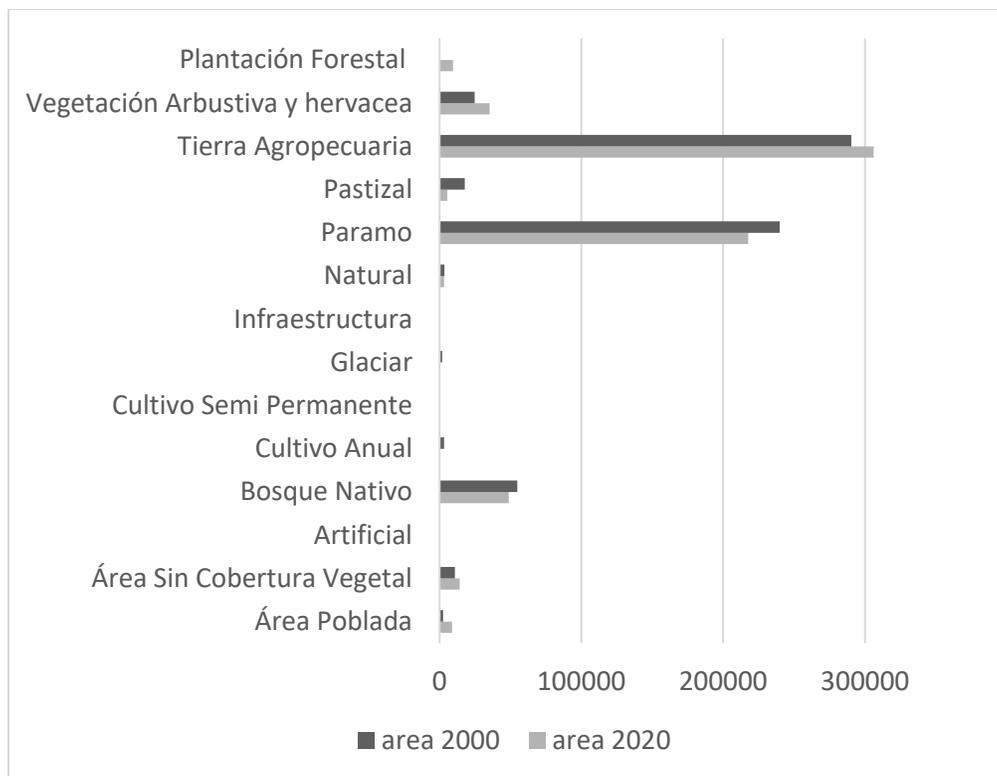
Finalmente, la categoría de plantación forestal, que no existía en el año 2000, apareció en 2020 con una superficie de 9.373,78 ha. Este crecimiento podría estar relacionado con programas de reforestación o el establecimiento de monocultivos



forestales que buscan mitigar los efectos de la deforestación y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

En conjunto, los resultados de este análisis multitemporal revelan una serie de transformaciones en la cobertura del suelo que reflejan tanto el impacto humano como los cambios en las condiciones ambientales a lo largo de dos décadas. Estos resultados proporcionan una visión integral de los procesos de cambio en el uso del suelo y ofrecen importantes implicaciones para la planificación y gestión sostenible del territorio.

**Figura 4:** Comparación de la Superficie de Cobertura de Suelo entre 2000 y 2020, cambios en las áreas de diferentes tipos de cobertura del suelo a lo largo de los dos periodos.



### Cambios multitemporales

El resultado de QGIS y Python arrojó la superficie específica que sufrió cambio al 2020, además de las que no se transformaron y conservan el mismo uso del suelo desde el año 2000 (figura 5). La distribución de la superficie con y sin cambio en el Análisis Multitemporal muestra los resultados de la clasificación del uso del suelo según los cambios observados, de un total de 649.543,88 ha analizadas, el 76,77% (498.661,37 ha) corresponde a áreas que no experimentaron cambios entre los dos periodos, mientras que el 23,23% (150.882,51 ha) de la superficie experimentó cambios en su cobertura. Estos resultados indican que una proporción significativa del territorio mantuvo su uso o cobertura constante a lo largo del tiempo, mientras que una parte considerable sufrió transformaciones en su uso o cobertura.





alto de fragmentación de los páramos y bosques andinos, en su estudio al este de los Andes colombianos, la fragmentación ha reducido significativamente la conectividad entre hábitats, afectando negativamente la biodiversidad y los ecosistemas. Las áreas protegidas actuales no son representativas de toda la diversidad ecológica debido a una distribución desigual y la falta de integración de ecosistemas fragmentados.

Medianamente fragmentado: en esta categoría, la superficie es de 12.708,8 hectáreas, con 1.344 parches, aunque la dispersión es considerable, se observan áreas de mayor conectividad entre los fragmentos, Peyre et al., 2021, determinaron que el nivel de fragmentación es alarmante en el páramo en los Andes del norte, esto debido principalmente a actividades humanas como la agricultura y la urbanización, enfatizando la importancia de implementar estrategias de conservación geoespacial para minimizar las pérdidas y preservar los servicios ecológicos.

Poco fragmentado: la mayor superficie se encuentra en este nivel, con 52.253,78 hectáreas distribuidas en 985 parches, lo que indica una menor dispersión y mayor conectividad ecológica. En total, el área estudiada abarca 67.444,9 hectáreas, que están distribuidas en 3.440 parches, lo que refleja una variabilidad en la fragmentación del paisaje que puede influir en la biodiversidad y la conectividad ecológica de los ecosistemas.

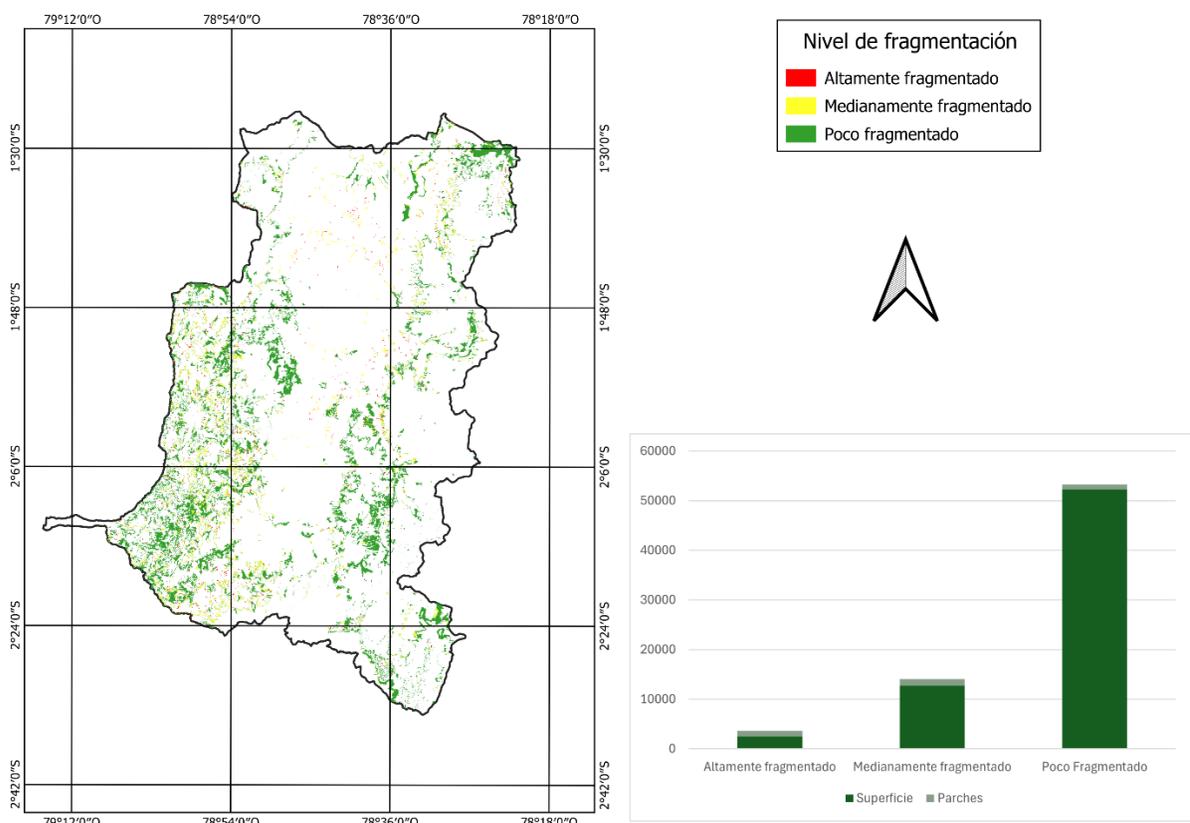
Tulloch et al. (2016), determina cómo los parches pequeños y poco fragmentados de hábitat pueden desempeñar un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, proporcionando refugio para especies clave y actuando como conectores en paisajes fragmentados, resalta que incluso los parches más pequeños contribuyen significativamente a mantener la diversidad genética y la funcionalidad ecológica en paisajes alterados, sumado a este trabajo, Yan et al., 2021 enfatiza que las áreas pequeñas y de baja fragmentación son fundamentales para la biodiversidad en paisajes fragmentados, utiliza el análisis geoespacial para determinar la importancia de estas tierras como "hotspots" (áreas calientes) de conservación y destaca su valor en la planificación de estrategias de restauración ecológica.

En conjunto, los resultados del análisis multitemporal vectorial de la provincia de Chimborazo indican que, aunque hay áreas con baja fragmentación que podrían funcionar como refugios importantes para la biodiversidad o "hotspots", también existen zonas que requieren atención urgente, especialmente aquellas con una alta fragmentación. Este estudio resalta la necesidad de implementar estrategias



de manejo del territorio que favorezcan la restauración de la conectividad ecológica y la reducción de la fragmentación, para garantizar la preservación de los ecosistemas y la biodiversidad a largo plazo.

**Figura 6:** Comparación de Superficie y Número de Parches según el Nivel de Fragmentación, las gráficas permiten comparar las superficies y la cantidad de parches en los diferentes niveles de fragmentación del paisaje de la provincia de Chimborazo.



## CONCLUSIONES

Este estudio sobre la fragmentación del paisaje ha proporcionado una visión detallada de la distribución y el estado de conservación de los hábitats en el área de estudio, destacando cómo los estudios multitemporales permiten explorar y determinar la estructura y segregación del espacio, nos permitió determinar el nivel de fragmentación y su grado de afectación a la conectividad ecológica.

A través del análisis multitemporal vectorial, se ha podido observar cómo ha evolucionado la fragmentación del paisaje a lo largo del tiempo, permitiendo identificar áreas críticas que requieren atención para mejorar la conectividad ecológica y la conservación de la biodiversidad.

El análisis multitemporal vectorial ha sido una herramienta clave en este proceso, ya que ha permitido no solo evaluar el estado actual del paisaje, sino también comparar los cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, este enfoque



proporciona una base sólida para comprender las dinámicas espaciales y temporales de la fragmentación y es esencial para el diseño de estrategias de manejo del territorio que favorezcan la restauración de hábitats y la reducción de la fragmentación.

La integración de datos geoespaciales y herramientas SIG han demostrado ser fundamentales en la identificación y cuantificación de los niveles de fragmentación, lo que facilita la toma de decisiones informadas en cuanto a la conservación y la gestión de los recursos naturales. La capacidad de evaluar la superficie y los parches de diferentes niveles de fragmentación en una escala temporal proporciona una perspectiva valiosa sobre cómo las actividades humanas y los cambios ambientales impactan los ecosistemas.

Este estudio resalta la importancia de los SIG en la investigación y gestión de la conservación, especialmente en contextos de producción y uso sostenible del suelo. Los resultados obtenidos sirven como base para futuros estudios que pueden explorar más a fondo la relación entre la fragmentación, la biodiversidad y las dinámicas de uso del suelo, además, las herramientas utilizadas en este análisis son esenciales para la planificación territorial, la restauración ecológica y la implementación de políticas ambientales efectivas que promuevan la sostenibilidad en el manejo de los recursos naturales.

La agricultura es una de las principales causas de deterioro en los países, afectando negativamente el almacenamiento de carbono y la calidad del suelo, además de influir en diferentes aspectos de los cambios hidrológicos derivados del uso intensivo del suelo, que reducen la capacidad de los páramos y bosques para actuar como esponjas hídricas.

La expansión de la agricultura en los países ecuatoriales ha resultado en una significativa pérdida de carbono almacenado en el suelo, este proceso pone en riesgo la capacidad de los páramos para actuar como sumideros de carbono y contribuye al cambio climático global, además, los cambios en el uso del suelo están transformando estos ecosistemas en áreas con menos biodiversidad y servicios ecosistémicos limitados, a largo plazo, esto puede tener graves consecuencias para la salud de los ecosistemas y la calidad de vida de las comunidades.

La disminución de glaciares también puede tener efectos en la disponibilidad de agua para las comunidades, ciudades y metrópolis, ya que dependen de ellos para generar la fuente hídrica, es fundamental estudiar cómo estos cambios afectan a la biodiversidad y los ecosistemas en general, ya que podrían tener consecuencias significativas en la cadena alimentaria y la estabilidad de los ecosistemas, por lo



tanto, es crucial mantener un seguimiento constante de estos cambios y tomar medidas preventivas para proteger los glaciales y las poblaciones que dependen de ellos. La disminución de glaciares también puede tener consecuencias en términos de desastres naturales, como inundaciones o deslizamientos de tierra, por lo que es importante estar preparados para enfrentar estos escenarios, por lo tanto, es crucial realizar un seguimiento continuo de estos cambios para proteger tanto el medio ambiente como las poblaciones locales que se ven afectadas, otro efecto de la disminución de glaciares también puede tener repercusiones en la biodiversidad de la región, lo que resalta la importancia de tomar medidas preventivas y adaptativas.

Es fundamental que se intensifiquen los esfuerzos de monitoreo para comprender mejor el impacto del cambio climático sobre los recursos naturales andinos y tomar medidas efectivas para enfrentar esta crisis. La colaboración entre científicos, gobiernos y comunidades locales es clave para garantizar la sostenibilidad en la región, ya que mediante la información recopilada a través de estas herramientas será fundamental para la toma de decisiones informadas en cuanto a la gestión de los recursos naturales y permitirán implementar medidas de monitoreo urgente para comprender y abordar los impactos del cambio climático con la utilización de tecnología avanzada y digital.

El análisis de la fragmentación del paisaje en el área de estudio revela una distribución desigual de la superficie y los parches según el nivel de fragmentación, la mayor parte de la superficie se encuentra en áreas poco fragmentadas, lo que sugiere que estos hábitats aún mantienen una relativa conectividad ecológica, sin embargo, una proporción significativa de la superficie está medianamente fragmentada, lo que implica que existen barreras ecológicas que podrían estar limitando el movimiento de especies y la conectividad entre hábitats.

Por otro lado, el área altamente fragmentada, aunque pequeña en superficie, está compuesta por un número considerable de parches, lo que refleja una alta dispersión del hábitat, esta situación puede generar desafíos adicionales para la conservación de la biodiversidad, ya que la alta fragmentación puede aumentar la vulnerabilidad de las especies y reducir la eficacia de los esfuerzos de restauración.

Los trabajos citados sobre fragmentación resaltan la vulnerabilidad de los páramos andinos frente a la fragmentación, impulsada principalmente por la actividad humana, las conclusiones coinciden en la urgencia de adoptar medidas de conservación, como corredores ecológicos y la expansión de áreas protegidas, para garantizar la conectividad y la sostenibilidad de estos ecosistemas únicos. Además,



se destaca el papel esencial de las herramientas SIG en el análisis y monitoreo de los cambios en el paisaje.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angel, S., Parent, J., & Civco, D. (2007). *Urban sprawl metrics: ASPRS Annual Conference 2007: Identifying Geospatial Solutions*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS Annual Conference 2007, 22-33.
- Armenteras, D., Gast, F., & Villareal, H. (2003). Andean forest fragmentation and the representativeness of protected natural areas in the eastern Andes, Colombia. *Biological Conservation*, 113(2), 245-256. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00359-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00359-2)
- Bustamante Calderón, D. (2017). Escenario de cambio climático a nivel de subcuencas hidrográficas para el año 2050 de la provincia de Chimborazo-Ecuador. LA GRANJA. *Revista de Ciencias de la Vida*, 26(2), 15-27. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.02>
- Caranqui, J., Lozano, P., Reyes, J., Caranqui, J., Lozano, P., & Reyes, J. (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>
- Cárcamo, A. M., & Ayuga, J. G. R. (2015). Análisis multitemporal mediante teledetección espacial y SIG del cambio de cobertura del suelo en el municipio de Danlí, El Paraíso, en los años 1987 -2011. *Ciencias Espaciales*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i2.2081>
- Condori Luna, I. J., Loza Murguía, M., Mamani Pati, F., & Solíz Valdivia, H. (2018). Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico—Provincia Caranavi en los años 1989–2014. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9(1), 25-44.
- Cuesta, F., Llambí, L. D., Huggel, C., Drenkhan, F., Gosling, W. D., Muriel, P., Jaramillo, R., & Tovar, C. (2019). New land in the Neotropics: A review of biotic community, ecosystem, and landscape transformations in the face of climate and glacier change. *Regional Environmental Change*, 19(6), 1623-1642. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01499-3>
- Curran, D. R. (1997). Simple fragment size and shape distribution formulae for explosively fragmenting munitions. *International Journal of Impact Engineering*, 20(1), 197-208. [https://doi.org/10.1016/S0734-743X\(97\)87493-3](https://doi.org/10.1016/S0734-743X(97)87493-3)
- De la Cruz Burgos, J. M., & Muñoz García, G. A. (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.  
<https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2807>

Escanilla-Minchel, R., Alcayaga, H., Soto-Alvarez, M., Kinnard, C., & Urrutia, R. (2020). Evaluation of the Impact of Climate Change on Runoff Generation in an Andean Glacier Watershed. *Water*, 12(12), <https://doi.org/10.3390/w12123547>

García, V. J., Márquez, C. O., Rodríguez, M. V., Orozco, J. J., Aguilar, C. D., & Ríos, A. C. (2020). Páramo Ecosystems in Ecuador's Southern Region: Conservation State and Restoration. *Agronomy*, 10(12), <https://doi.org/10.3390/agronomy10121922>

Greenberg, J. A., Kefauver, S. C., Stimson, H. C., Yeaton, C. J., & Ustin, S. L. (2005). Survival analysis of a neotropical rainforest using multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 96(2), 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.02.010>

Hegarar-Masclé, S. L., Quesney, A., Vidal-Madjar, D., Taconet, O., Normand, M., & Loumagne, C. (2000). Land cover discrimination from multitemporal ERS images and multispectral Landsat images: A study case in an agricultural area in France. *International Journal of Remote Sensing*, 21(3), 435-456. <https://doi.org/10.1080/014311600210678>

Hervas Toctaquiza, E. V., Tiviano Milán, I. del C., & Carrión Mero, P. (2021). *Geología aplicada para la gestión del agua en la comunidad de El Arenal - Volcán Chimborazo - Provincia de Bolívar* [Thesis, ESPOL. FICT]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52336>

Hobbs, R. J. (2001). Synergisms among Habitat Fragmentation, Livestock Grazing, and Biotic Invasions in Southwestern Australia. *Conservation Biology*, 15(6), 1522-1528. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.01092.x>

Huebla, C., & Alfonso, M. (2018). *Estudio de la Diversidad Florística a diferente Gradiente Altitudinal en el Bosque Montano Alto Lluclud, cantón Chambo, provincia de Chimborazo*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1057650>

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2017). Catálogo de metadatos [metadata catalog]. Geoportal [Map]. <http://www.ideportal.iee.gob.ec/descargas/>

Lozano, P., Armas, A., Gualán, M., Guallpa, M., Lozano, P., Armas, A., Gualán, M., & Guallpa, M. (2018). Diversidad y composición florística del Bosque Los Búhos ubicado en la provincia de Chimborazo, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(3), 12-28. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n3.211>

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2024). Geoportal IDE Ambiente: Mapa interactivo [Map]. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo>

Molina Benavides, R. A., Campos Gaona, R., Sánchez Guerrero, H., Giraldo Patiño, L., & Atzori, A. S. (2019). Sustainable Feedbacks of Colombian Paramos Involving Livestock, Agricultural Activities, and Sustainable Development



- Goals of the Agenda 2030. *Systems*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/systems7040052>
- Muñoz, D. A., Rodríguez Montenegro, M., & Romero Hernández, M. (2009). Análisis multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas, en la microcuenca las minas, corregimiento de La Laguna, municipio de Pasto, departamento de Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 26(1), 11-24.
- Peyre, G., Osorio, D., François, R., & Anthelme, F. (2021). Mapping the páramo land-cover in the Northern Andes. *International Journal of Remote Sensing*, 42(20), 7777-7797. <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1964709>
- QGIS Development Team. (2024). QGIS Geographic Information System (Version 3.24.5) [Software]. <https://www.qgis.org>
- Sabogal, A. (2023). *The Paramo Ecosystems*. En A. Sabogal (Ed.), *Ecosystem and Species Adaptations in the Andean-Amazonian Region: Traditional Land-Use Systems in Peru* (pp. 105-130). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44385-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44385-5_10)
- Samaniego, P., Barba, D., Robin, C., Fornari, M., & Bernard, B. (2012). Eruptive history of Chimborazo volcano (Ecuador): A large, ice-capped and hazardous compound volcano in the Northern Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 221-222, 33-51. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2012.01.014>
- Siordia, C., & Fox, A. (2013). Public Use Microdata Area Fragmentation: Research and Policy Implications of Polygon Discontiguity. *Spatial Demography*, 1(1), 41-55. <https://doi.org/10.1007/BF03354886>
- Thompson, J. B., Zurita-Arthos, L., Müller, F., Chimbolema, S., & Suárez, E. (2021). Land use change in the Ecuadorian páramo: The impact of expanding agriculture on soil carbon storage. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 53(1), 48-59. <https://doi.org/10.1080/15230430.2021.1873055>
- Tulloch, A. I. T., Barnes, M. D., Ringma, J., Fuller, R. A., & Watson, J. E. M. (2016). Understanding the importance of small patches of habitat for conservation. *Journal of Applied Ecology*, 53(2), 418-429. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12547>
- Turpo Cayo, E. Y., Borja, M. O., Espinoza-Villar, R., Moreno, N., Camargo, R., Almeida, C., Hopfgartner, K., Yarleque, C., & Souza, C. M. (2022). Mapping Three Decades of Changes in the Tropical Andean Glaciers Using Landsat Data Processed in the Earth Engine. *Remote Sensing*, 14(9), <https://doi.org/10.3390/rs14091974>
- Vásquez, I. (2008). Conectividad Costa-Andes en Bosques Templados Lluviosos Sudamericanos. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24414.51528>
- Xiao, J., Shen, Y., Ge, J., Tateishi, R., Tang, C., Liang, Y., & Huang, Z. (2006). Evaluating urban expansion and land use change in Shijiazhuang, China, by using GIS and remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 75(1), 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.12.005>



- Yan, Y., Jarvie, S., Zhang, Q., Zhang, S., Han, P., Liu, Q., & Liu, P. (2021). Small patches are hotspots for biodiversity conservation in fragmented landscapes. *Ecological Indicators*, 130, 108086. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108086>
- Yáñez-Cajo, D., Álvares Sánchez, A., & Oviedo Bayas, B. (2022). Species Distribution Models: Applications for forestry studies. *NeuroQuantology*, 20(6), 1536-1546. <https://doi.org/doi:10.14704/nq.2022.20.6.NQ22148>
- Zavala Muñoz, M. C. (2016). *Estudio multitemporal del cambio de uso del suelo para establecer mecanismos de defensa y conservación en la microcuenca del río Jubal en los años 1991 al 2011*. [bachelorThesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2016.]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/2975>
- Zhou, Q., Yu, Q., Liu, J., Wu, W., & Tang, H. (2017). Perspective of Chinese GF-1 high-resolution satellite data in agricultural remote sensing monitoring. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2), 242-251. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61479-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61479-X)