

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE
NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO**

Realizado por:

NICOLE ELIZABETH LÓPEZ SÁNCHEZ

Director del Proyecto:

JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Loja, 16 de marzo de 2022

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE
NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO**

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, NICOLE ELIZABETH LÓPEZ SÁNCHEZ, con cédula de identidad número 1150028403, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por normativa institucional vigente.



Nicole E. López S.

C.I.: 1150028403

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE
NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE
NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO**

Realizado por:

NICOLE ELIZABETH LÓPEZ SÁNCHEZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

FIRMA

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

MIGUEL MARTÍNEZ FRESNEDA MESTRE

SUSANA ELIZABETH CHAMORRO ARIAS

Después de revisar el trabajo presentado, lo han calificado como apto para su defensa oral
ante el tribunal examinador

Miguel Martínez

Susana Chamorro

Loja, 16 de marzo de 2022

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

DEDICATORIA

A mis tíos Jorge Eduardo Samaniego Fuertes (+) y Dr. Marco Vinicio Sánchez Fuertes, más cerca que lejos, en un allá que siempre está aquí.

A mi hermana Econ. Michelle Faviola López Sánchez, quien vivió de cerca esta travesía y ha sido incondicional en toda mi vida.

A mi hermano Ing. Alexander Paúl Sánchez Fuertes, has sido un hombre indispensable en mi vida, gracias por ser como eres.

Nicole Elizabeth López Sánchez

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Resumen

La presente investigación se desarrolló en el Parque Nacional Podocarpus (PNP) y su zona de amortiguamiento, ubicado en la parte sureña del Ecuador, zona de alta concentración de biodiversidad, entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe. Se estudió la deforestación a través del análisis del cambio de uso del suelo de imágenes de satélite Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI en dos periodos de tiempo, 1989 – 2001 y 2001 – 2020 utilizando los softwares de libre acceso TerrSet, Erdas Imagine y ArcMap 10.3.

A través de técnicas de interpretación de imágenes de satélite, se creó la clasificación supervisada de los años 1989, 2001 y 2020. Con estas imágenes se analizó los cambios de uso del suelo y se estimó la tasa de deforestación mediante la aplicación de una ecuación formulada por Puyravaud (2003) donde se aplica las áreas de bosque en la fecha inicial y final. Para el período 1989 – 2001 fue de -0.08% y para el período 2001 – 2020 fue de -0.15%. El principal cambio de uso de suelo estuvo determinado por la conversión de bosques a pastizales, debido al incremento de actividades agrícolas y la apertura de vías de acceso, lo que facilita la invasión del territorio y su conversión a tierras agropecuarias, además la presión por actividades mineras y extracción de madera, especialmente especies como el romerillo.

Los resultados obtenidos mostraron cómo ha evolucionado el uso del suelo a lo largo del período de estudio del PNP pese a ser parte de una zona intangible desde su declaratoria en el año de 1982. Dichos resultados además mostraron que debe trabajarse en nuevos lineamientos enfocados al ordenamiento territorial de la zona que rodea al bosque, al establecimiento y orden del manejo forestal responsable en la zona de amortiguamiento

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

diseñado en forma participativa con la comunidad aledaña, de esta forma todos los involucrados sumarán esfuerzos para una óptima conservación del parque.

Palabras clave: Parque Nacional Podocarpus, cambio de uso del suelo, deforestación, Terrset, Erdas Imagine, landsat.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Abstract

This research was developed in the Podocarpus National Park (PNP) and its buffer zone, that it is located in the southern part of Ecuador, a zone of high concentration of biodiversity, between Loja and Zamora Chinchipe provinces. Deforestation was studied through the analysis of land-use change of satellite images Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI over two time periods, 1989 – 2001 and 2001 – 2020 using the free access software TerrSet, Erdas Imagine and ArcMap 10.3.

Through satellite image interpretation techniques, it was created the supervised classification of the years 1989, 2001 and 2020. These images analyzed the changes in land use and estimated the rate of deforestation by applying an equation formulated by Puyravaud (2003) where forest areas are applied at the start and end date. For the period 1989 – 2001 it was - 0.08% and for the period 2001 – 2020 it was -0.15%. The main change in land use was determined by the conversion of forests to grasslands, due to the increase in agricultural activities and the opening of access roads, which facilitates the invasion of the territory and its conversion to agricultural land, in addition, the pressure for mining activities and wood extraction, especially species such as Romerillo.

The results obtained showed how land use has evolved over the NPP study period despite being part of an intangible zone since its declaration in 1982. These results also showed that work should be done on new guidelines focused on the territorial management of the area surrounding the forest, the establishment and order of responsible forest management in the buffer zone designed in a participatory manner with the surrounding community, in this way, all involved will add efforts for optimal conservation of the park.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Keywords: Podocarpus National Park, land use change, deforestation, Terrset, Erdas Imagine, landsat.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen	1
Abstract.....	3
Glorario.....	8
1. Introducción.....	9
2. Materiales y métodos.....	13
2.1. Ubicación del área de estudio	13
2.2. Características generales del área de estudio.....	13
— Clima:.....	13
— Hidrología:	14
— Geología:	14
— Geomorfología:	14
— Ecosistemas:.....	14
2.3. Desarrollo metodológico.....	16
2.3.1. Pre procesamiento de imágenes de satélite.....	16
2.3.2. Procesamiento de imágenes de satélite.....	19
2.3.3. Post procesamiento de imágenes de satélite	24
2.3.4. Cambio de uso del suelo.....	25

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.5.	Análisis de los factores que provocaron el cambio de uso del suelo.....	28
3.	Resultados.....	30
3.1.	Cobertura del suelo año 1989, 2001 y 2020	30
3.2.	Cambios en la cobertura	36
3.3.	Deforestación	39
3.4.	Factores que provocaron el cambio de uso del suelo en el PNP.....	39
4.	Discusión	45
4.1.	Uso actual del suelo y cobertura vegetal	45
4.2.	Cambio de uso del suelo	47
4.3.	Análisis de deforestación	51
5.	Conclusiones.....	56
6.	Bibliografía.....	58
7.	Anexos.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación geográfica del Parque Nacional Podocarpus	15
Figura 2.	Composición RGB año 2016 de la zona de estudio.....	19
Figura 3.	Segmentación de imágenes en polígonos.....	21
Figura 4.	Módulo Segtrain.....	22
Figura 5.	Módulo MaxLike de TerrSet.....	23
Figura 6.	Clasificación MaxLike año 2016	24

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 7. Imagen con píxeles incorrectamente clasificados	25
Figura 8. Modulo LCM de TerrSet.....	27
Figura 9. Mapa de cambios período 2001 – 2020	27
Figura 10. Mapa de cobertura vegetal año 1989	33
Figura 11. Mapa de cobertura vegetal año 2001	34
Figura 12. Mapa de cobertura vegetal año 2020	35
Figura 13. Mapa de cambios período 1989 – 2001	37
Figura 14. Mapa de cambios período 2001 – 2020	38
Figura 15. Ganancias y Pérdidas de uso del suelo período 1989 – 2001	48
Figura 16. Ganancias y Pérdidas de uso del suelo período 2001 – 2020	49
Figura 17. Zonificación territorial del Parque Nacional Podocarpus	50
Figura 18. Cascada la Poderosa, ubicada en la zona de recreación del PNP.....	63
Figura 19. Loros cuello blanco del PNP.....	63
Figura 20. Río Loyola.....	64
Figura 21. Río Bombuscaro (zona de amortiguamiento)	64
Figura 22. Río Bombuscaro sector El Limón.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imágenes Landsat utilizadas en la presente investigación	17
Tabla 2. Clases de cobertura y uso del suelo utilizadas para la presente investigación	20
Tabla 3. Superficie y porcentaje ocupado por cada cobertura en el PNP.....	31
Tabla 4. Cambios de cobertura del suelo 1989 – 2001 y 2001 – 2020.....	39

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Glorario

AP/ Área Protegida

LCM/ Land Change Modeler

MAATE/ Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica

MAG/ Ministerio de Agricultura y Ganadería

PNP/ Parque Nacional Podocarpus

PNUMA/ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PRAS/ Programa de Reparación Ambiental y Social

SNAP/ Sistema Nacional de Áreas Protegidas

UICN (International Union for Conservation of Nature)/ Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

WCS/ Wildlife Conservation Society Ecuador

ZA/ Zona de amortiguamiento

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

1. Introducción

En el estado ecuatoriano, desde el año 1936 cuando se declaró la primera área protegida del país, ha permitido a lo largo del tiempo se dé inicio a una serie de proyectos investigativos a nivel nacional en espacios de alto valor ecológico, con el único interés de conocer y proteger la biodiversidad de la nación, los cuales han permitido identificar la situación real en la que se encuentran y conocer si dichas áreas han sido o están siendo perturbadas por el hombre.

La biodiversidad es un término complejo y confuso (Caurín & Martínez, 2013), para Jeffries (1997), la biodiversidad resulta de procesos y patrones ecológicos y evolutivos irrepetibles. Según el Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del Ambiente, rama del PNUMA desde el año 2000, afirma que existen diecisiete países megadiversos ubicados en regiones tropicales del planeta, principalmente América Latina, África y Asia, en ellos se agrupa el 70% de toda la biodiversidad del mundo (Bravo, 2014).

Ecuador es uno de ellos, y es parte de los cinco leading hotspots conocidos en la investigación como sitios que albergan al menos el 2% de todos las plantas y vertebrados endémicos registrados en el mundo (Torres et al., 2017). Por tal razón, Ecuador es uno de los países con mayor biodiversidad a nivel mundial (Hogan, 2020), especialmente si se estima el número de especies que existe en el estado por unidad de área (Bravo, 2014). Sin embargo, en noviembre del 2015, la UICN concluyó que el Ecuador pasó a formar parte de los países con mayor número de especies amenazadas (UICN, 2015).

En el año de 1976 se estableció el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) en el Ecuador, estrategia que el estado ecuatoriano implementó con el objetivo de conservar la biodiversidad natural, garantizar la protección de los servicios ambientales y el desarrollo

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

sostenible de las comunidades locales (WCS, 2020). Uno de ellos es el Parque Nacional Podocarpus, compartido entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, declarado patrimonio del Ecuador el 15 de diciembre de 1982, a fin de proteger el bosque más grande de coníferas andinas nativas del género *Podocarpus* conocido como romerillo (MAATE, 2018). Podocarpus es la única zona del sur de Ecuador con grandes fajas de bosque virgen ininterrumpido y no perturbado que van desde clima tropical hasta templado (MAATE, 2020a).

BirdLife Internacional (2021) señala que, alrededor del parque hay algunos asentamientos humanos incluyendo a las ciudades de Loja y Zamora, que obtienen el recurso hídrico que se capta en los páramos y bosques, aunque toda el área está destinada a la conservación de la diversidad biológica, existen algunas actividades extractivas en su interior y sobre todo en la zona de amortiguamiento como son zonas agrícolas, ganadería, minería, deforestación. Adicionalmente, se conoce que el parque está atravesado o colinda con carreteras interprovinciales que proveen de numerosas vías de acceso a esta importante área protegida.

El estudio del cambio de uso del suelo en áreas protegidas permite conocer los procesos de modificación de los ecosistemas (García et al., 2002), particularmente se espera profundizar en la comprensión de las causas directas y subyacentes que suscitan los cambios en el uso del suelo, haciendo hincapié en la evaluación de las tendencias actuales y futuras de la transformación en la cobertura vegetal (Sahagún & Reyes, 2018).

Es en base a la problemática anteriormente mencionada donde aparece la importancia de conocer la realidad en el que se encuentra el PNP a nivel de uso actual del suelo y cobertura vegetal; por lo tanto, es importante preguntarnos ¿Existen cambios de uso de suelo en el

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

PNP? ¿Son realmente las actividades antrópicas la principal amenaza al parque? ¿Cómo podríamos identificar estos cambios de uso de suelo y cobertura vegetal? ¿Es posible proteger y conservar un bosque natural de importancia biológica a nivel mundial a través de mecanismos reglamentados como son las declaratorias del SNAP?

Entonces, es importante ejecutar este tipo de investigaciones, debido que, respecto al PNP después de realizar una búsqueda minuciosa de información bibliográfica, las pocas investigaciones realizadas en el área protegida no han demostrado del todo un proceso de investigación actual, lo que genera vacíos en la sociedad científica, por lo tanto, este estudio proporciona información de soporte y válida para posteriores investigaciones enfocadas al estudio de cambios en la cobertura y uso del suelo, cuantificar la deforestación a nivel de paisaje y zonas de amortiguamiento. Para este de estudio es indispensable el uso de SIG, pues permiten hacer mas eficiente el estudio de los cambios en el uso del suelo, en definitiva, la integración de imágenes de satélite conjuntamente con la teledetección permite hacer más eficiente el estudio de los cambios en el uso del suelo en áreas donde se mezclan usos urbano y agrícola (Chuvienco, 2008).

Con los datos y el desarrollo de este estudio se espera contribuir con precisa información para futuras investigaciones enfocadas al ordenamiento territorial, así como para el mejoramiento de políticas y estrategias de conservación de los recursos naturales con alto e incalculable valor ecológico. En base a lo señalado anteriormente se planteó la siguiente hipótesis de investigación: Entre 1989 y 2020 se produjo variaciones en la cobertura vegetal y ocupación del suelo en el PNP y su zona de amortiguamiento, así pues, el cambio de uso del suelo es producto de las diferentes actividades como la agricultura, minería artesanal, tala

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

de madera, pastoreo, que realizan las comunidades asentadas en los alrededores del área protegida, las mismas que producen algún tipo de presión al PNP.

Finalmente, se propuso diferentes objetivos, siendo el objetivo general analizar la dinámica de cambios de la cobertura vegetal y los procesos de deforestación del Parque Nacional Podocarpus (PNP) y su zona de amortiguamiento ubicado en la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, utilizando técnicas de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica, para alcanzar dicho objetivo se propuso tres objetivos específicos: evaluar el cambio de cobertura de suelo a través de imágenes satelitales clasificadas a partir de los sensores Landsat 5, 7 y 8 de los años 1989, 2001 y 2020 respectivamente, calcular la tasa de deforestación de los períodos 1989 – 2001 y 2001 – 2020 y para concluir investigar los factores que provocaron el cambio de uso del suelo en el PNP.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2. *Materiales y métodos*

2.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio comprende el PNP y su zona de amortiguamiento, se encuentra ubicado en las provincias sureñas de Loja y Zamora Chinchipe, las diferencias altitudinales, evidenciadas en su accidentada topografía, han dado lugar a la conformación de hábitats únicos y endemismo natural.

Sus 146 280 ha guardan una gran biodiversidad y alto grado de endemismo, contienen una alta representatividad ecosistémica y prestan servicios ambientales fundamentales para una numerosa población humana. Posee un rango altitudinal que va desde los 960 m s.n.m. en el sector Bombuscaro, hasta los 3 800 m s.n.m. en el límite provincial de la divisoria de aguas de las nacientes del río Numbala y Vilcabamba (MAATE, 2020b).

El PNP fue declarado parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador bajo Acuerdo Ministerial No. 398 del 15 de diciembre de 1982 y Registro Oficial No. 404 del 15 de enero de 1983, cuenta con dos reconocimientos internacionales, como Reserva de Biosfera Podocarpus – El Cóndor declarado el 18 de septiembre de 2007 y Humedal de importancia mundial Ramsar: Sistema Lacustre Lagunas del Compadre el 15 de diciembre de 2012 (MAATE, 2020b).

2.2. Características generales del área de estudio

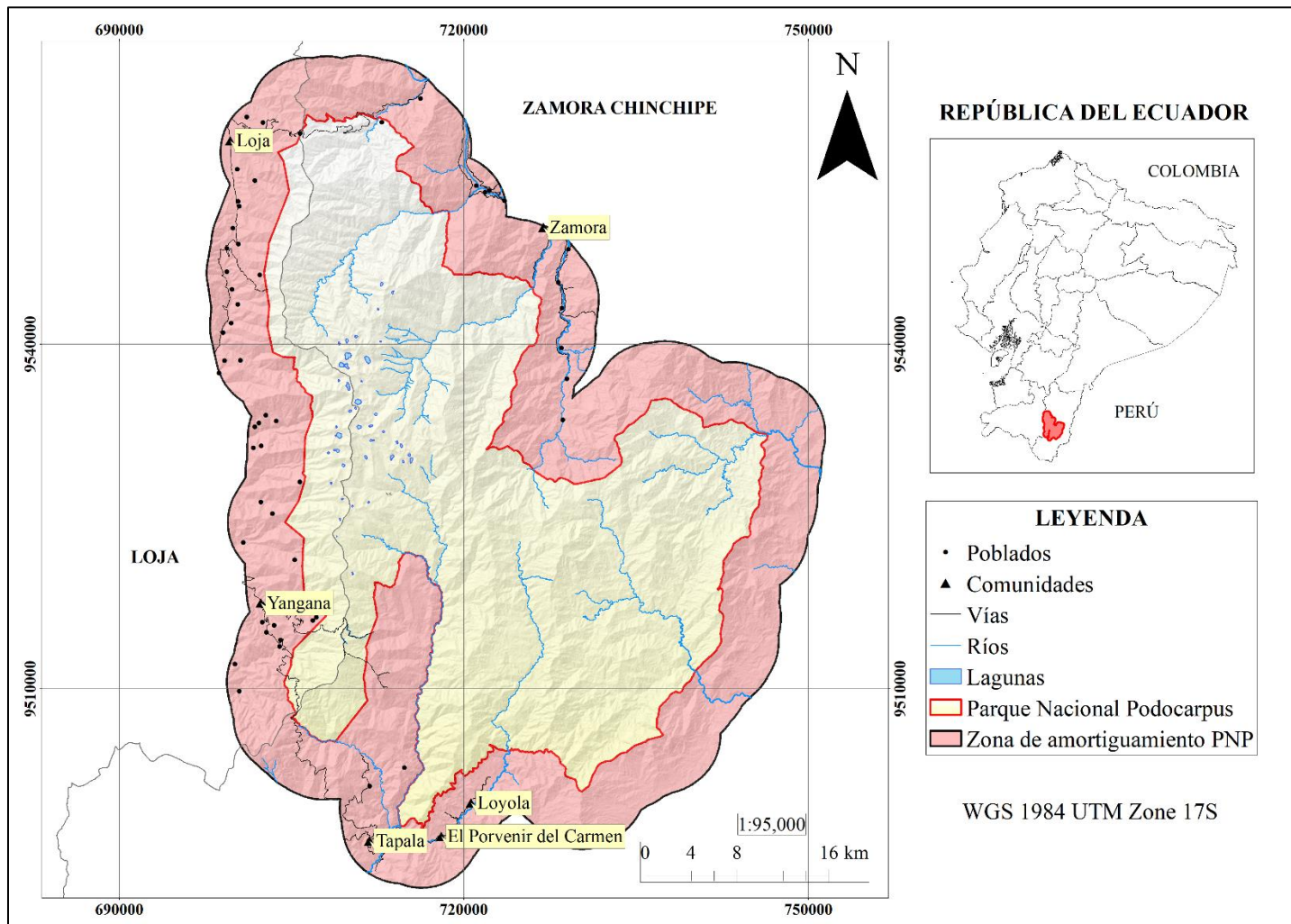
— **Clima:** Varía entre un mínimo de 9°C en las zonas de páramo y un máximo de 21,7°C en las estribaciones orientales. La temperatura mínima registrada es de 3,2°C y la máxima de 29,4°C. Los extremos registrados se explican por la amplia variación altitudinal al interior del área. En cuanto a la precipitación, se registra un promedio anual de 1 730 mm.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

- **Hidrología:** En las partes altas de los páramos hay lagunas de origen glaciar desde donde nacen cuatro cuencas hidrográficas: Catamayo que vierte sus aguas en el océano pacífico, Chinchipe, Zamora y Nangaritza, conocidas como el corazón hidrológico de la región sur por alimentar los sistemas productivos de los valles que se extienden hasta el norte de Perú, así como a la ciudad de Loja y Zamora Chinchipe (EcuRed, 2013).
- **Geología:** Se encuentran rocas metamórficas compuestas de gneisses, esquistos, filitas y cuarcitas, que conforman las partes altas de la Cordillera; intrusiones de composición granítica y granodiorítica que corresponden al batolito de Zamora; andesitas, tobas y volcánicos indiferenciados del Terciario en el Norte de Loyola; y, depósitos glaciares del Cuaternario relacionados con la formación de las lagunas (MAATE, 2020b).
- **Geomorfología:** Se diferencian tres conjuntos geomorfológicos: de Oeste a Este hay vertientes disectadas, seguidas por relieves montañosos y relieves de Colinas al oriente.
- **Ecosistemas:** Destaca el bosque siempreverde piemontano, bosque siempreverde montano bajo, bosque de neblina montano, bosque siempreverde montano alto, páramo arbustivo, entre otros (MAE 2014).

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 1. Ubicación geográfica del Parque Nacional Podocarpus



Fuente: El Autor

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.Desarrollo metodológico

2.3.1. Pre procesamiento de imágenes de satélite

2.3.1.1.Base de datos

Se generó en base a la interpretación de imágenes satelitales disponibles del año 1989, 2001 y 2020, un procedimiento de edición cartográfica donde se editó la información necesaria y se almacenó en una geodatabase, se crearon las capas: poblados, vías de acceso, ríos dobles y lagunas considerando el sistema de proyección cartográfica World Geodetic System (WGS) 1984, zona 17 Sur.

Se recopiló insumos cartográficos de división política y administrativa del Ecuador a nivel provincial, cantonal y parroquial en formato digital del Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) (<http://www.igm.gob.ec>). Además, información cartográfica de la base de datos del Sistema Nacional de Información (SIN) (<http://sni.gob.ec>).

Así mismo se solicitó al Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) de la ciudad de Loja información cartográfica directa del Parque Nacional Podocarpus, como: zonificación del parque, buffer del área de manejo, vías, ríos y provincias que cubre la zona de estudio.

Además, se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) Alos Palsar de 30 m obtenido de la plataforma virtual Alaska Satellite Facility de la NASA (<https://www.asf.alaska.edu>), esto con el fin de simular la reflectancia de la luz de la superficie del terreno, cuando se ilumina desde una dirección específica.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.1.2. Selección de programas

Se seleccionó softwares de libre acceso, como TerrSet versión 2020, sistema de software geoespacial que permite desarrollar clasificaciones de un territorio en específico, además Erdas Imagine 2015 donde se realizó el post procesamiento de la clasificación generada. Así mismo se trabajó con ArcMap 10.3 el cual permitió trabajar la versión final de los mapas presentados más adelante. Finalmente se trabajó con Google Earth Pro pues ofrece de forma gratuita un completo conjunto de datos geoespaciales, imágenes de alta resolución actualizada y sobre todo imágenes históricas de cualquier parte del mundo lo que facilitó en gran medida la interpretación de los resultados.

2.3.1.3. Selección de imágenes de satélite

La búsqueda y descarga de imágenes de satélite se obtuvo en la plataforma virtual de la base de datos United States Geological Survey “USGS GloVis” disponible en (<https://glovis.usgs.gov>). Para ello, se debe tener en cuenta seleccionar imágenes con baja cobertura de nubes y ruido espacial para que de cierta forma no presente complicaciones en el desarrollo y procesamiento de la información.

Tabla 1. Imágenes Landsat utilizadas en la presente investigación

Satélite	Sensor	Año	Fecha
Landsat 5	Thematic Mapper (TM)	1989	10-nov-1989
Landsat 7	Enhanced Thematic Mapper (ETM+)	2001	03-nov-2001
Landsat 8	Operational Land Imager (OLI)	2020	11-ag-2020
	Thermal Infrared Sensor (TIRS)		

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.1.4. Correcciones de imágenes de satélite

En este proceso se elimina cualquier anomalía detectada en la imagen, ya sea en su localización o en la radiometría de los píxeles que la componen. Es importante señalar que cualquier imagen adquirida por un sensor remoto, aéreo o espacial, presenta una serie de alteraciones radiométricas o geométricas debidas a diferentes factores como: distorsiones originadas por la plataforma, distorsiones por la rotación terrestre, distorsiones por el sensor y distorsiones por la atmósfera (Chuvieco, 2008).

a) Corrección geométrica

Se realizó corrección geométrica de las imágenes, esto con el fin de ubicar en la posición que ocupan los píxeles que la forman, es decir, ubicar la información en la Zona de Ecuador UTM 17 Sur, correspondiente a la zona de estudio. Dicho proceso se realizó en el módulo Metaupdate de TerrSet.

b) Corrección atmosférica

Se realizó a cada imagen de satélite a través del módulo PCA (Principal Components Analysis) en el software TerrSet. Esta es una técnica bastante empleada que tiene como objetivo resumir la información contenida en un grupo amplio de variables en un nuevo conjunto, más pequeño, sin perder una parte significativa de esa información. En definitiva, proporciona una mejor distribución de los datos, frente a esos ejes de variabilidad, lo que puede facilitar una identificación más atinada de las distintas cubiertas (Chuvieco, 2008).

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

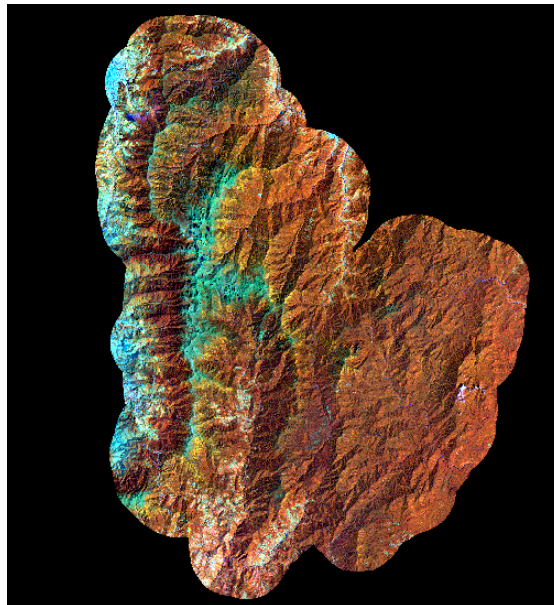
2.3.2. Procesamiento de imágenes de satélite

Se determinó las diferentes coberturas que se logran diferenciar en las imágenes satelitales, además se obtiene la variable temática de cobertura vegetal, para ello, es indispensable conocer el territorio en estudio.

2.3.2.1. Generación de composite o composición a color

Esta técnica trata de detectar las áreas de cambio mediante el análisis visual de imágenes en color provenientes de varias fechas. Para ello se mezcla 3 bandas de una imagen, utilizando la combinación de bandas 5-6-4 RGB: R (red) G (green) y B (blue) para estudios de vegetación en imágenes Landsat. La interpretación del color resultante dependerá de que bandas combinemos y en qué orden temporal.

Figura 2. Composición RGB año 2016 de la zona de estudio










ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.2.2. Determinación de clases de cobertura

Para clasificar las imágenes se definió previamente la escala de trabajo y se tomó en consideración las clases de cobertura del MAATE y MAG de acuerdo al protocolo de leyenda temática nivel I (MAE & MAGAP, 2015).

Las imágenes del satélite Landsat tienen resolución espacial de 30 metros del tamaño de píxel, estas imágenes son óptimas para trabajar a nivel regional, las coberturas que se identificaron se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Clases de cobertura y uso del suelo utilizadas para la presente investigación

Código	Cobertura	Color
1	Bosque	
2	Páramo	
3	Matorrales	
4	Pastos y Cultivos	
5	Cuerpos de agua	
6	Área urbana	
7	Infraestructura vial	

2.3.2.3. Clasificadores de segmentación

El software TerrSet ofrece tres módulos para clasificación de imágenes de satélite en segmentos. A continuación, se detalla el proceso de clasificación:

a) Segmentación

La segmentación, es el proceso llevado a cabo para dividir una imagen digital en varias partes o grupos de píxeles. Su objetivo es simplificar y cambiar la representación de una imagen en otra más significativa y más fácil de analizar.

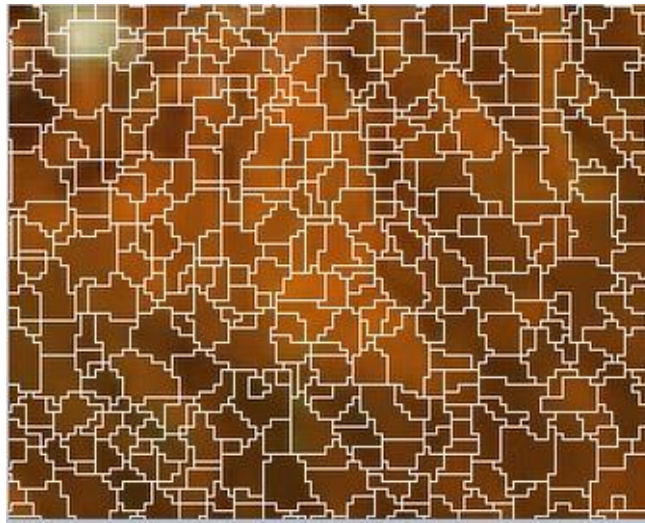
Se utilizó el módulo de segmentación de imágenes, el cual agrupa los píxeles adyacentes en segmentos de la imagen según su semejanza espectral y crea una imagen de segmentos, en

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

este caso se genera polígonos que tienen las mismas características espectrales, los que sirven de base para la asignación de sitios de entrenamiento (Eastman, 2012).

En dicho módulo se inserta un grupo de imágenes, se especifica la tolerancia y se ubica la ruta de salida del archivo que se va a generar.

Figura 3. Segmentación de imágenes en polígonos



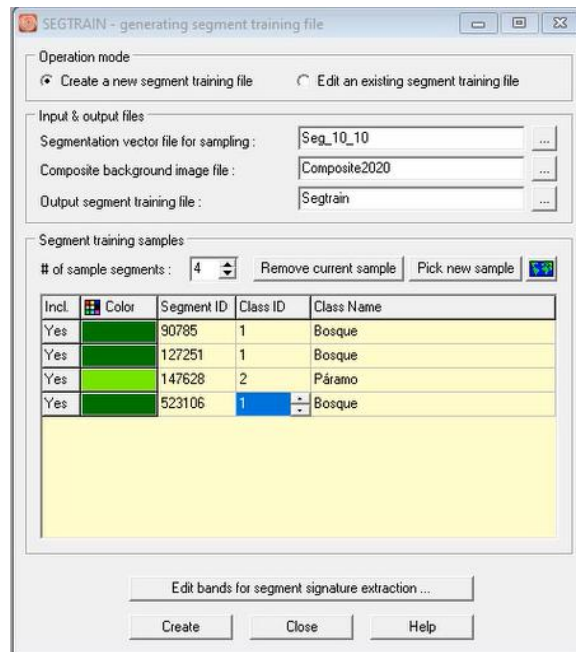
En la figura anterior, se puede observar el resultado del proceso de la segmentación de imágenes de satélite, donde el módulo generó polígonos con características espectrales similares.

b) Segtrain

Seguidamente se procede a generar un archivo de entrenamiento de los segmentos generados, este módulo desarrolla de forma interactiva los sitios de entrenamiento y las firmas basadas en los segmentos del módulo anterior (segmentación).

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 4. Módulo Segtrain



En el módulo segtrain se ingresa el resultado de la segmentación, así mismo la composición en color RGB y finalmente se asigna las categorías establecidas anteriormente, al mismo tiempo el color para su fácil distinción.

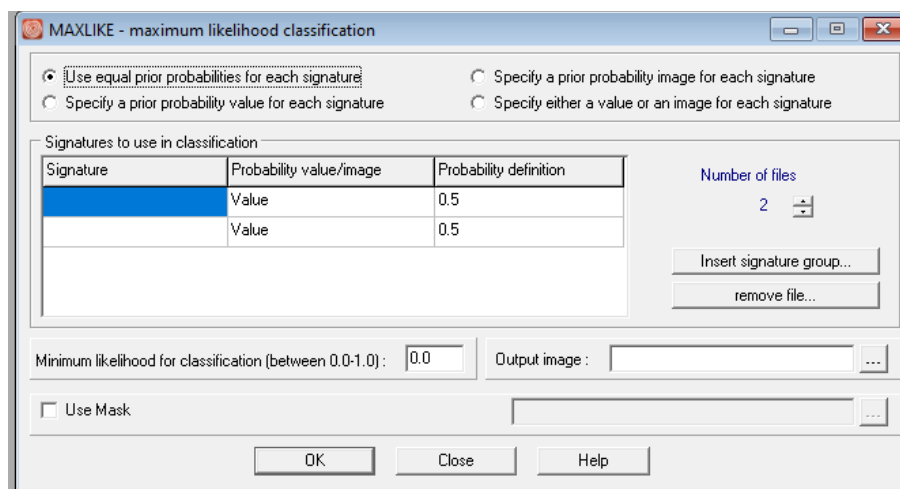
2.3.2.4. Fase de asignación (sistema clasificador)

En esta fase se trata de describir cada uno de los píxeles de la imagen de satélite a unas de las clases previamente seleccionadas. Finalizada las firmas, se procedió a ejecutar la clasificación, considerando que existen algunos criterios estadísticos según (Chuvieco, 2008): entre los más comunes tenemos: clasificador de mínima distancia, clasificador de paralelepípedos y clasificador de máxima probabilidad; sin embargo existen otros criterios conocidos como clasificador en árbol, clasificador basado en el contexto espacial, redes neurales artificiales y clasificación borrosa.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Para el presente estudio en análisis, considerando que existen numerosos algoritmos de clasificación, se seleccionó el clasificador de Máxima Probabilidad también conocido como MaxLike, puesto que según (Chuvieco, 2008), es un clasificador frecuentemente utilizado en estudios de carácter ambiental por su alto grado de aceptación, robustez e inclusive por su capacidad de distinguir las diferentes coberturas de uso de suelo fácilmente.

Figura 5. Módulo MaxLike de TerrSet



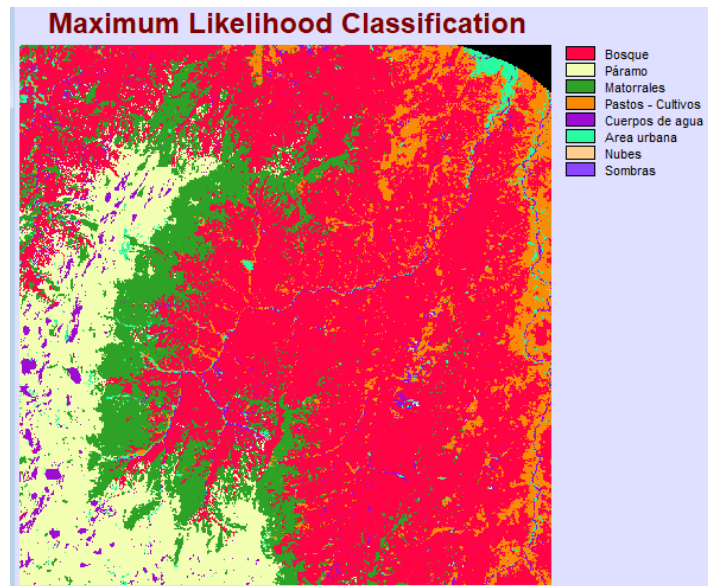
En el módulo MaxLike (figura 5) se ingresa el resultado del Segtrain, se activa la probabilidad de cada firma y finalmente se ubica una ruta de salida.

El clasificador de máxima probabilidad es el algoritmo comúnmente utilizado en percepción remota, ya que es sencillo de aplicar, así como para interpretar los resultados que expulsa, además de considerarse uno de los procedimientos de discriminación más acertados y eficientes, esto siempre que los datos sigan una función de distribución normal (Maselli, Conese, Petkiy, & Resti, 1992). Por otro lado, (François & García, 2008) señalan que este clasificador está basado en estadísticas paramétricas y toma en cuenta únicamente la información espectral píxel-a-píxel, por lo cual utiliza solamente una pequeña parte de la

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

información contenida en las imágenes y muchas veces fallan en identificar correctamente las categorías de cobertura del suelo.

Figura 6. Clasificación MaxLike año 2016



2.3.3. Post procesamiento de imágenes de satélite

Independientemente del método empleado en la clasificación digital, los resultados se almacenan en una nueva imagen, similar a las originales, pero con la diferencia de que el nivel digital de cada píxel no corresponde a un valor de reflectividad, sino a la categoría a la que fue asignada.

En la cobertura clasificada, podrían existir algunos píxeles aislados o pequeñas regiones de píxeles incorrectamente clasificados. Esto da un aspecto granuloso o manchado a la salida, por tanto, el procesamiento posterior a la clasificación hace referencia al proceso de eliminar el ruido y mejorar la calidad de la salida clasificada (ArcGIS, 2020).

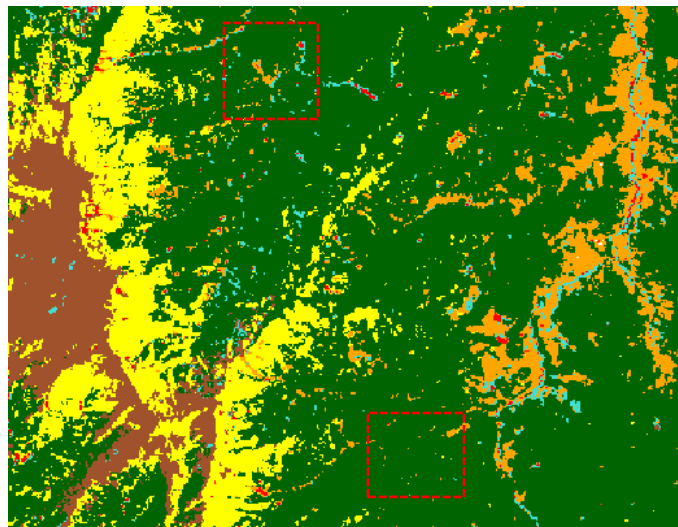
Los clasificadores que ofrece el software TerrSet pueden generar el efecto sal y pimienta que es cuando una imagen tiene píxeles de colores muy claros o muy oscuros que son totalmente

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

diferentes a los píxeles que rodean a la imagen real, esto puede darse por la complejidad de los entornos biofísicos, entonces la confusión espectral es común entre las clases de cobertura terrestre (Lu & Weng, 2007).

Finalmente, conseguidas las coberturas de los años 1989, 2001 y 2020, se procedió a realizar el análisis post procesamiento en el software Erdas Imagine con el objetivo de mejorar y realzar la calidad de las clasificaciones, así como reorganizar aquellos píxeles que se categorizaron en forma errónea y eliminar las nubes presentes.

Figura 7. Imagen con píxeles incorrectamente clasificados



2.3.4. Cambio de uso del suelo

El cambio de uso del suelo se realizó mediante un estudio comparativo de los cambios espacio temporales de la cobertura vegetal de los dos períodos de estudio, a partir de la intercalación de los mapas finales de cobertura del suelo de los años 1989, 2001 y 2020 a través del software TerrSet.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.4.1. Identificación de cambio de uso del suelo

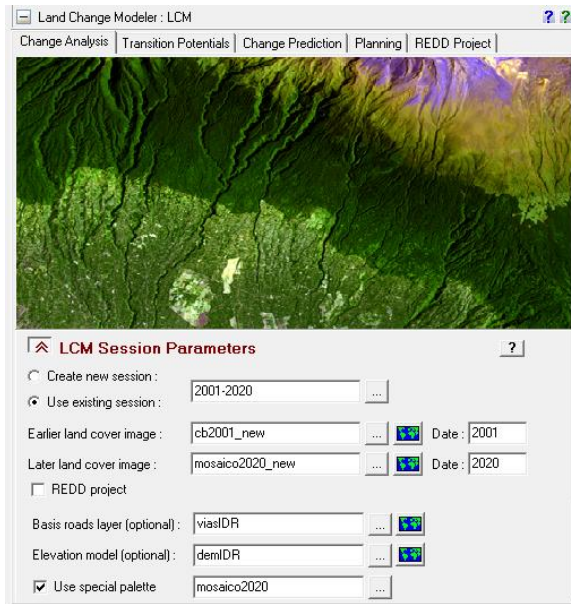
Este procedimiento se llevó a cabo por medio del módulo Land Change Modeler (LCM) integrado en el software TerrSet, este es un innovador sistema de apoyo en la planificación del suelo, también permite analizar rápidamente los cambios en la cobertura del suelo y modelar y simular futuros escenarios de cambios de la tierra, además, incluye herramientas especiales que permiten evaluar y mitigar el cambio climático REDD (reducción de emisiones por deforestación y degradación forestal) (ClarkLabs, 2020).

Una vez obtenidos los resultados, se sobre montaron los mapas de uso del suelo para la obtención de un mapa de cambios por cada período de estudio. Para los parámetros de entrada se insertó las clasificaciones de 1989, 2001 y 2020, esta información fue dividida en dos períodos de tiempo: 1989 – 2001 y 2001 – 2020, finalmente el módulo genera evaluaciones gráficas con los cambios encontrados a lo largo del tiempo y un resultado cartográfico principalmente.

Como parámetros de entrada se utilizó las imágenes clasificadas de 1986, 2000 y 2016, esta información permitió iniciar el análisis de los cambios de uso del suelo dividido en dos períodos de tiempo, 1986 - 2000 y 2000 - 2016; este módulo generó evaluaciones gráficas de los cambios ocurridos y una evaluación cartográfica principalmente. En la figura 8 se presenta la interfaz de LCM.

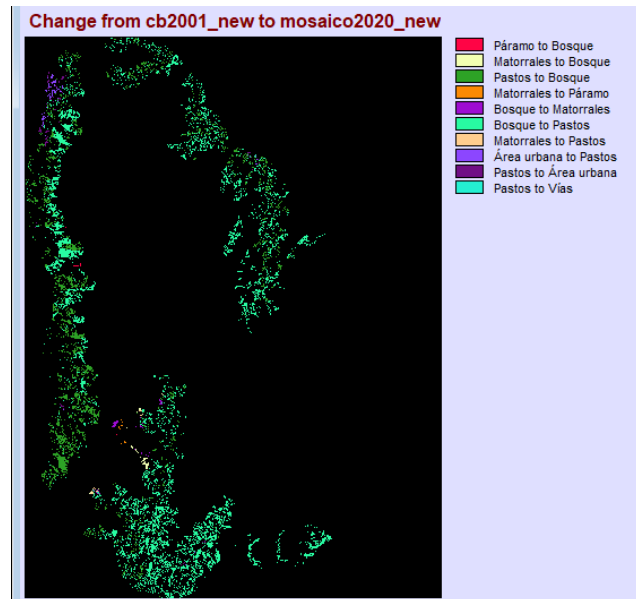
ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 8. Modulo LCM de TerrSet



Otras variables como el DEM y vías son indispensables para establecer la relación entre ellos (ClarkLabs, 2020). A continuación, se muestra el resultado que proyecta el programa:

Figura 9. Mapa de cambios período 2001 – 2020



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2.3.4.2. Análisis de tasa de deforestación

Para el análisis de deforestación se utilizaron las ecuaciones propuestas por (Puyravaud, 2003), la primera estimación corresponde a la deforestación total anual (R), expresada a continuación:

Ecuación 1. Deforestación total anual

$$\left[R = \frac{A1 - A2}{t2 - t1} \right]$$

En donde A1 y A2 corresponden al área de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1) (Puyravaud, 2003).

La segunda estimación hace referencia a la tasa de deforestación anual (q) que se obtiene comparando el área de bosque de una zona determinada en dos años diferentes (Puyravaud, 2003), se indica a continuación:

Ecuación 2. Tasa de deforestación anual

$$\left[q = \left[\left(\frac{A2}{A1} \right)^{\frac{1}{t2-t1}} - 1 \right] * 100 \right]$$

En donde A1 y A2 corresponden al área de bosque en la fecha final (t2) e inicial (t1) (Puyravaud, 2003).

2.3.5. Análisis de los factores que provocaron el cambio de uso del suelo

Para dicho análisis de los factores causales del cambio del uso del suelo en el PNP se realizó una minuciosa y estricta búsqueda bibliográfica en los diferentes espacios virtuales que ofrece la internet.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

El trabajo de revisión bibliográfica representa un punto fundamental de todo proyecto académico e investigativo, este debe garantizar la obtención de la información más selecta en el campo de estudio, puesto que la web constituye un espacio muy extenso de información.

La metodología propuesta por (Gómez et al., 2014) está compuesta de cuatro fases:

2.3.5.1. Definición del problema

Debe ser lo suficientemente claro y que responda a las necesidades del investigador.

2.3.5.2. Búsqueda de la información

Debe hacerse desde una perspectiva estructurada y profesional, considerando libros, revistas de divulgación o de investigación científica, sitios Web.

2.3.5.3. Organización de la información

En esta fase se organiza documentos principales de los secundarios.

2.3.5.4. Análisis de la información

Es el trabajo que toma más tiempo en la investigación bibliográfica, ya que con ella se espera identificar el aporte a realizar.

Fueron dichas fases las consideradas al momento de investigar los factores que provocaron los cambios de uso del suelo en el PNP desde el año 1989 al 2020, información que ayudó a complementar y corroborar los resultados que se muestran más adelante.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

3. Resultados

En el presente capítulo, se detallan los resultados que demuestran los cambios de la cobertura del suelo y la deforestación del bosque nativo en la zona de investigación.

3.1. Cobertura del suelo año 1989, 2001 y 2020

En el Parque Nacional Podocarpus y su zona de amortiguamiento para el año 1989 la cobertura de *bosque* fue de 200831.76 ha (77%), mientras que la cobertura *pastos* y *cultivos* que corresponden a las actividades agrícolas y pecuarias donde el uso del suelo está destinado en su totalidad a prácticas de ganadería, con pequeñas combinaciones de pastos plantados y pequeños cultivos de subsistencia cubren una extensión de 29212.06 ha (11%). Las áreas antrópicas donde la cobertura de uso del suelo está cubierta por la infraestructura urbana, cubre al menos el 0.6% del territorio, y se compone de la cobertura *área urbana* y *vías*.

Para el año 2001, la cobertura de *bosque* ocupa el 76% del territorio, lo que representa 200184.01 ha de la zona de estudio, los *pastos* (zonas destinadas a la ganadería) ocupan 30486.78 ha que figura el 12%, para dicho año el área urbana aumenta a 30486.78 ha y las vías cubren 544.03 ha del área de investigación.

En el año 2020, el *bosque* ocupa el 75% del territorio, lo que significa que a lo largo de 31 años se evidencia una pérdida significativa de 4835.95 ha, siendo la cobertura total para este año 195995.81 ha de bosque nativo. Los *pastos* aumentaron a un 14% lo que representa 35485.47 ha, así mismo el suelo antropogénico (*área urbana* y *vías*) muestran un rápido crecimiento al 0.7% del territorio.

Además, en el período de estudio los *cuerpos de agua*, *páramo* y *matorrales* no presentaron variaciones significativas, como lo muestran los datos presentados en la Tabla 3.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Tabla 3. Superficie y porcentaje ocupado por cada cobertura en el PNP

Cdg.	Cobertura	Año 1989		Año 2001		Año 2020	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	Bosque	200,831.76	77	200,184.01	76	195,995.81	75
2	Páramo	16,749.99	6	16,720.56	6	16,720.45	6
3	Matorrales	11,910.6	5	11,684.61	4	11,683.22	4
4	Pastos	29,212.06	11	30,486.78	12	35,485.47	14
5	Cuerpos de agua	998.46	0.4	877.88	0.3	877.75	0.3
6	Área urbana	967.41	0.4	1,210.09	0.5	1,273.05	0.5
7	Vías	501.76	0.2	544.03	0.2	593.79	0.2
	Total	261,172.04	100	261,707.96	100	262,629.54	100

El 75% del total del territorio para el año 2020 corresponde a la cobertura bosque, en efecto, representa gran importancia para el manejo y conservación de bosques protegidos y la conexión de la biodiversidad que alberga cada uno de ellos. El Parque Nacional Podocarpus protege el bosque de romerillos más grande del país, compuesto por tres especies del género *Podocarpus*, la única conífera del territorio ecuatoriano, además, grandes superficies de páramo en el límite de la provincia de Loja y Zamora Chinchipe, zonas de matorrales y bosques nublados únicos de la nación. Protege también al oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) especie representativa del sur del país, al puma (*Puma concolor*) y tapir (*Tapirus pinchaque*), especies según la UICN en peligro de extinción.

Hay que mencionar, además, el Parque Nacional Podocarpus en conjunto con otros espacios protegidos, conservan áreas únicas del país, manteniendo y fortaleciendo el equilibrio

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

ecológico de los bosques contiguos que se conectan entre sí, hacia el noroeste con la Reserva Privada El Madrigal del Podocarpus, Reserva Forestal Palmas Cloud y la Reserva Natural El Bosque ubicadas en la zona de amortiguamiento del PNP, hacia el noreste con el Área Protegida Autónoma Descentralizada Yacuambi recientemente declarada por el SNAP del Ecuador, hacia el sur con la Reserva Numbala conocida a nivel nacional como el último refugio de los Podocarpus gigantes, hacia el sureste, con el Bosque Protector del Alto Nangaritza y la Reserva Biológica Cerro Plateado, finalmente hacia el suroeste con la Reserva Tapichalaca – Casa Simpson.

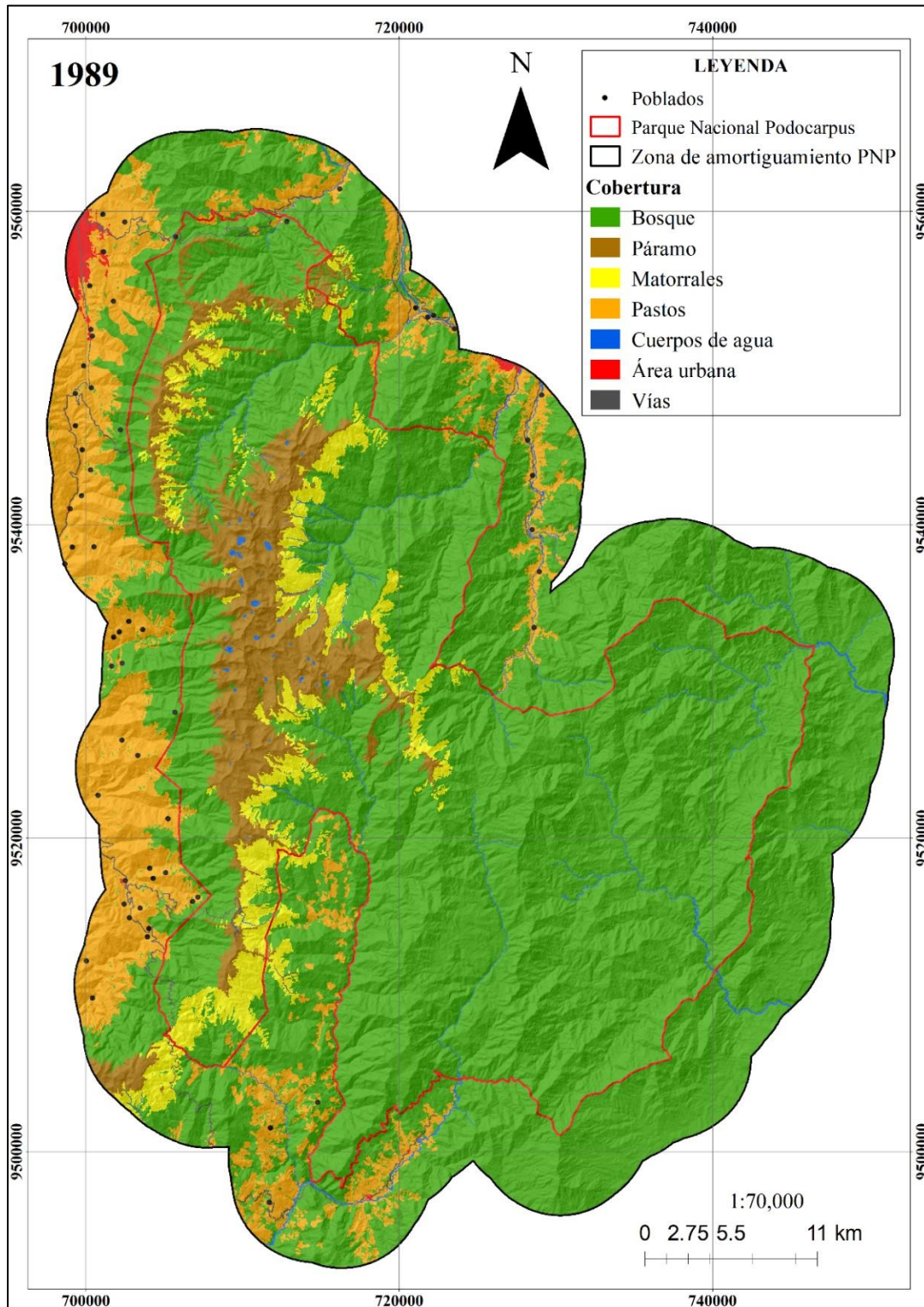
Las grandes extensiones de pastos representan la ganadería extensiva y abrupta que es el principal uso del territorio, además, esta cobertura incluye el desarrollo de actividades agrícolas que no son identificables por la escala de trabajo y cubren el 14% del territorio.

El estudio del cambio de las coberturas y usos del suelo entre el año 1989 y 2020 del PNP revela que el bosque a pesar de simbolizar el mayor porcentaje de la superficie del área protegida, ha disminuido y ha sido transformado hacia otras coberturas como área urbana y pastos principalmente que incluye los cultivos. Como se observa en las figuras 10, 11 y 12 los pastos se concentran en la zona oeste y sur del parque y es la cobertura que ha contribuido mayormente a la pérdida del bosque, seguramente debido al aumento progresivo de asentamientos humanos y el desarrollo de sus prácticas agropecuarias. Además, el incremento de la superficie de esta cobertura surge debido a la implementación de sistemas agro productivos y ganaderos cercanos a zonas desarrolladas.

A continuación, las figuras 10, 11 y 12 muestran los mapas de cobertura vegetal para el año 1989, 2001 y 2020 respectivamente.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

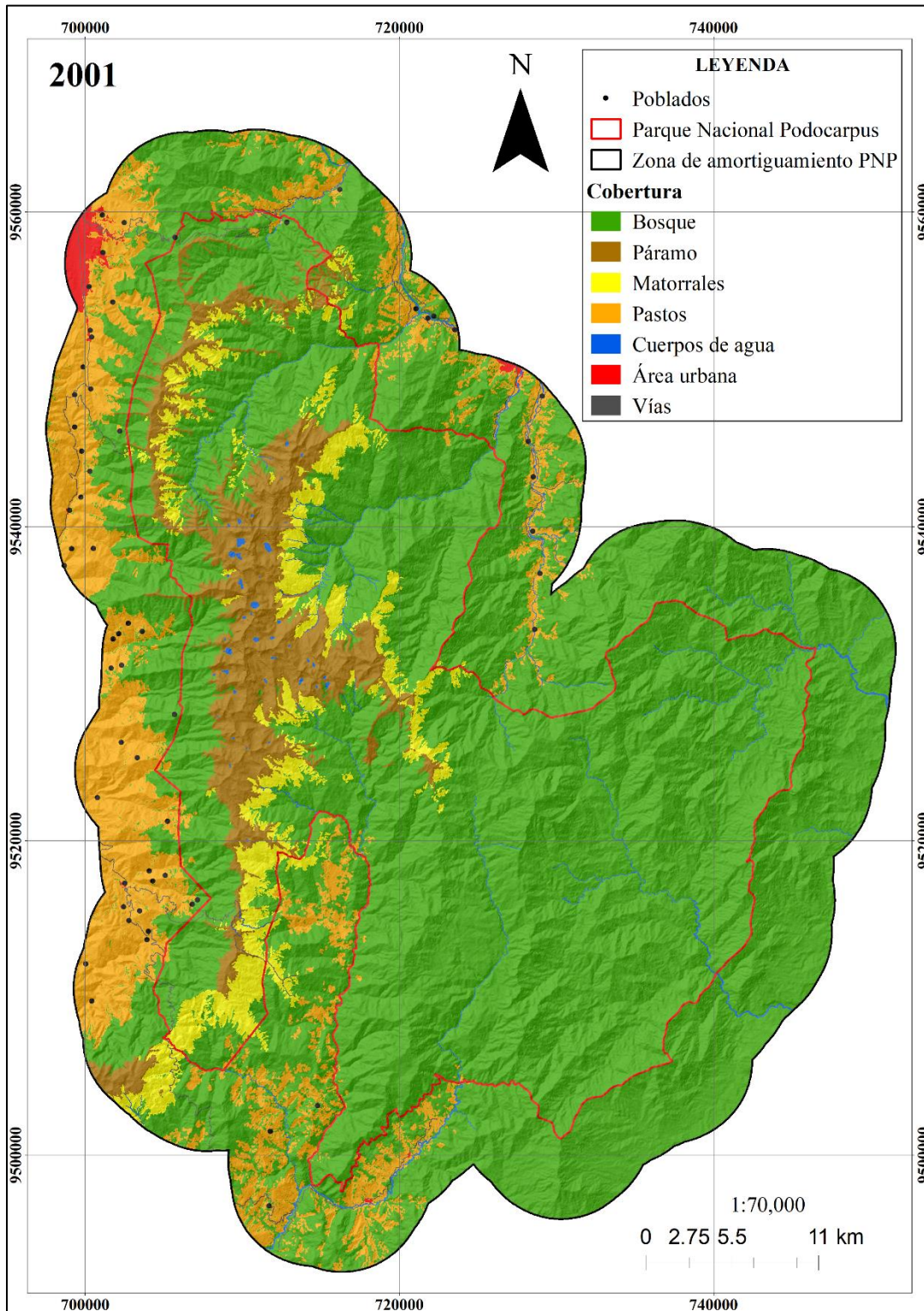
Figura 10. Mapa de cobertura vegetal año 1989



Fuente: El Autor

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

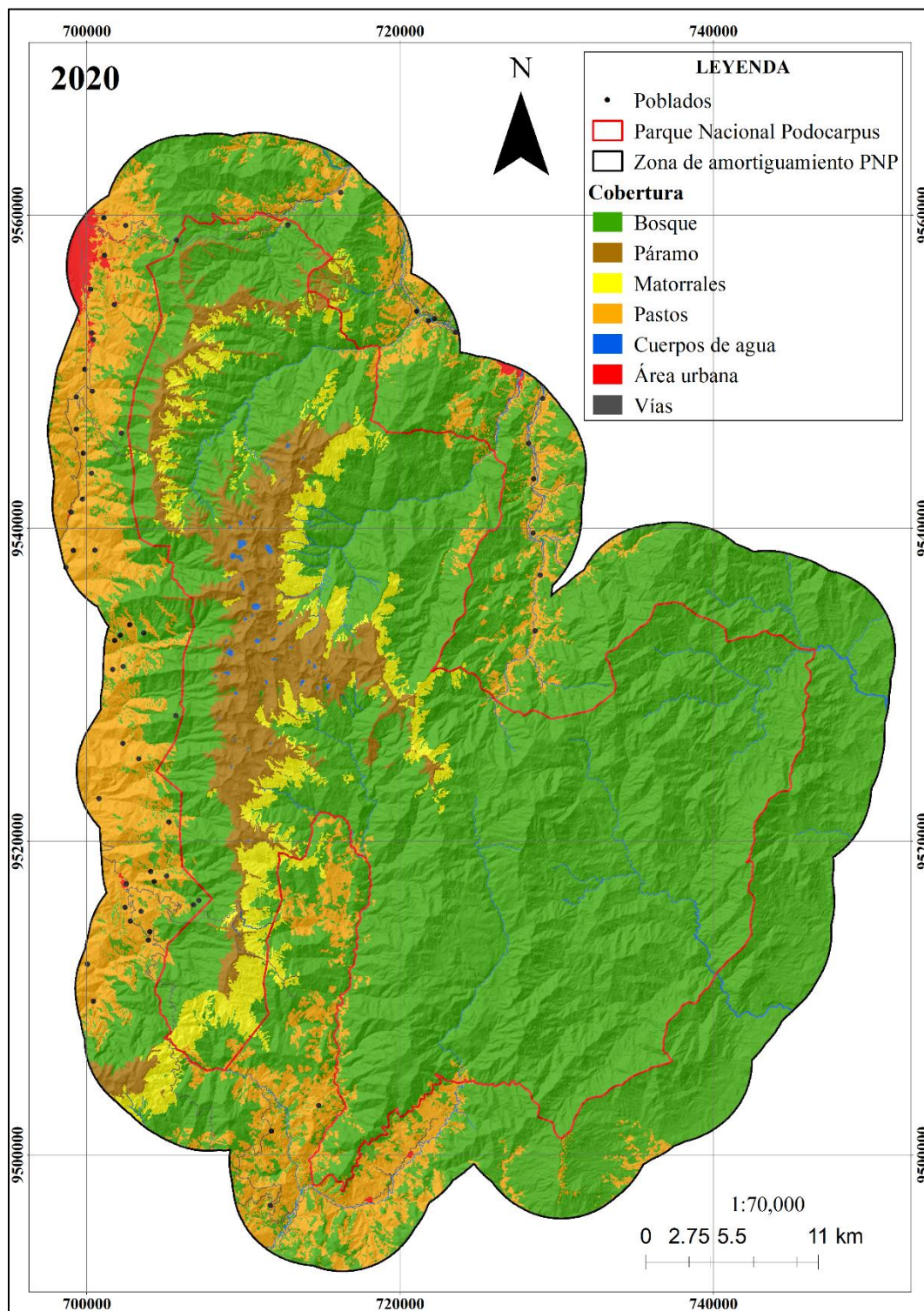
Figura 11. Mapa de cobertura vegetal año 2001



Fuente: El Autor

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 12. Mapa de cobertura vegetal año 2020



Fuente: El Autor

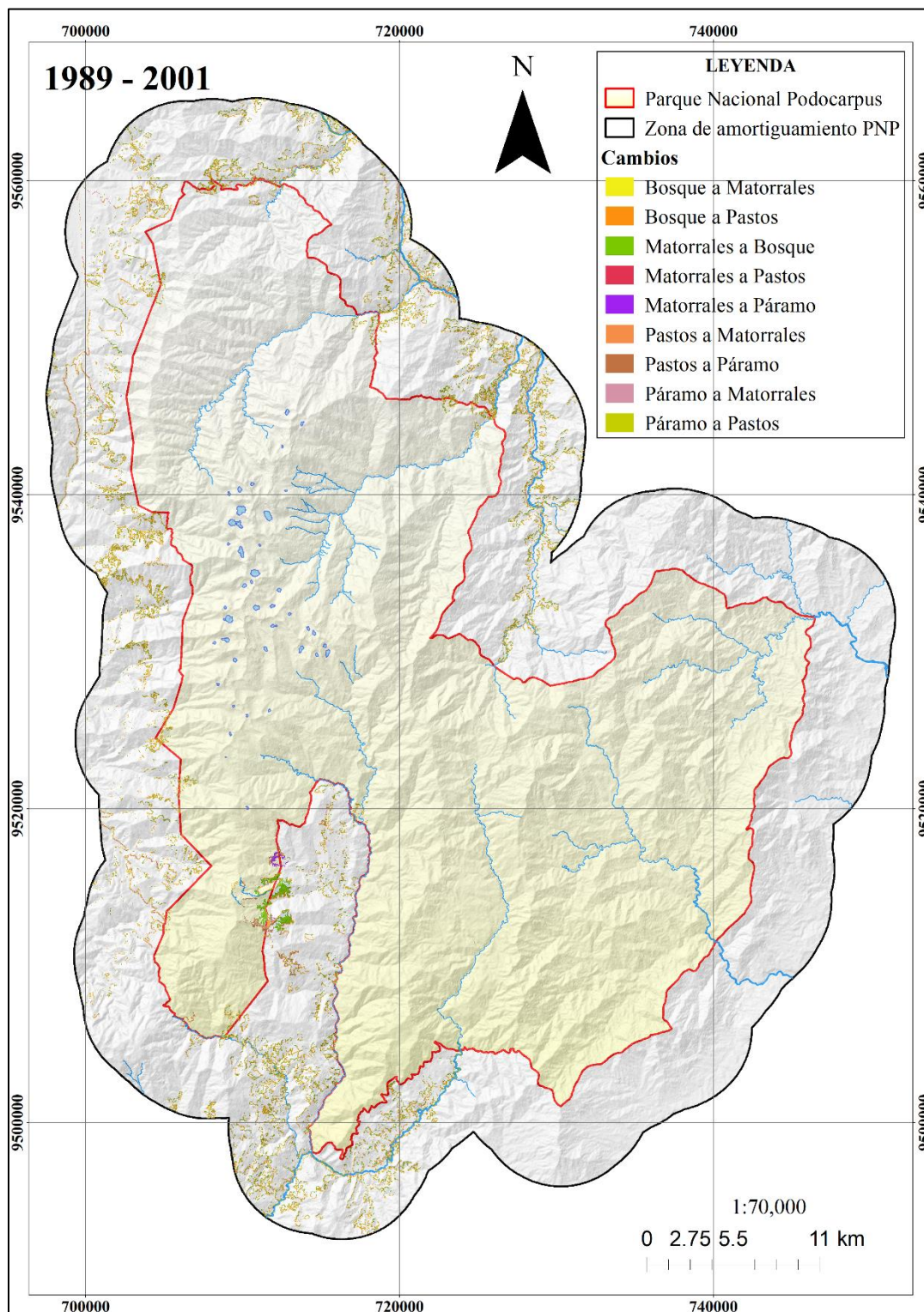
ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

3.2.Cambios en la cobertura

Las figuras a continuación, muestran los mapas de cambio de uso del suelo para los períodos 1989 – 2001 y 2001 – 2020 respectivamente:

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

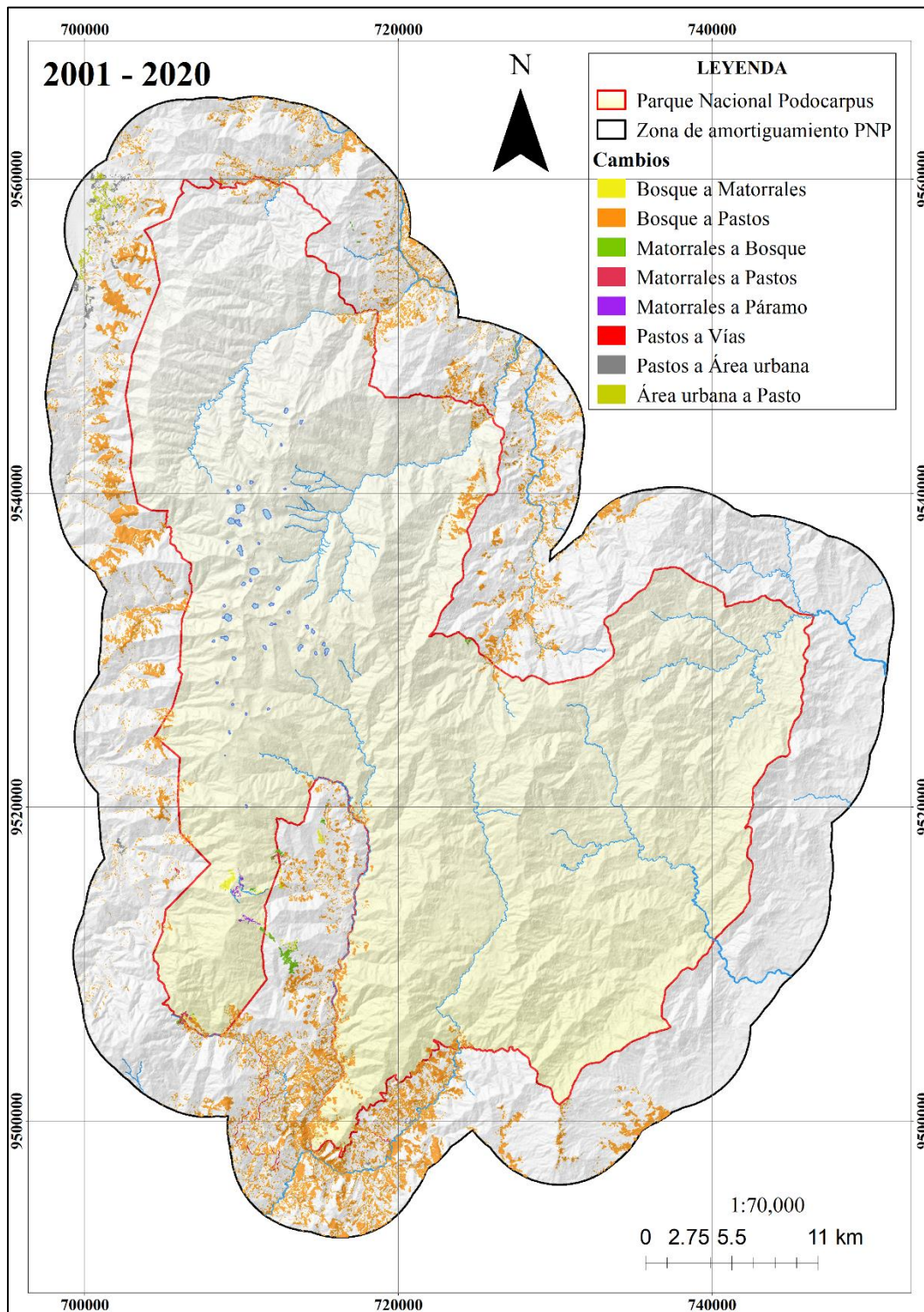
Figura 13. Mapa de cambios período 1989 – 2001



Fuente: El Autor

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 14. Mapa de cambios período 2001 – 2020



Fuente: El Autor

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

3.3. Deforestación

En el Parque Nacional Podocarpus durante el período 1989 - 2001, se perdieron aproximadamente 647.75 ha de bosque, lo que representa una tasa de deforestación de -0.08% que corresponde a una pérdida de 53.98 ha/año; mientras que para el período 2001 – 2020, la pérdida de cobertura de bosque fue de 4,188.2 ha, lo que equivale a que anualmente se talaron 220.43 ha/año, con una tasa de deforestación de -0.15%.

La mayor pérdida de bosque se encuentra en la zona de amortiguamiento del área protegida, principalmente en áreas pobladas y dominadas por actividades agropecuarias, específicamente en la zona sur del parque.

La tabla 4 resumen los datos obtenidos:

Tabla 4. Cambios de cobertura del suelo 1989 – 2001 y 2001 – 2020

Cobertura	ha 1989	ha 2001	ha 2020	Período 1989 - 2001		Período 2001 - 2020	
				Def. total anual (ha/año)	Tasa de def. anual	Def. total anual (ha/año)	Tasa de def. anual
Bosque	200,831.76	200,184.01	195,995.81	53.98	-0.08	220.43	-0.15

3.4. Factores que provocaron el cambio de uso del suelo en el PNP

Entre las principales amenazas del área protegida destaca la minería artesanal en el corazón del parque (sector de San Luis), la falta de manejo de las cuencas hídricas, vertidos de minería en el agua, la infracción de los límites de AP, las ajustadas limitaciones financieras en la administración, la exagerada frontera agrícola en la zona de amortiguamiento del parque,

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

incendios forestales con el fin de obtener más extensión de tierra para cultivos y ganadería, la tala de especies selectivas, tráfico de vida silvestre, caza y pesca ilegal (MAATE, 2020b).

Un estudio centrado en la conflictología de Numbala, zona de amortiguamiento (ZA) del Parque Nacional Podocarpus (PNP) señala que los problemas surgen a partir del año 1998, donde se inicia la invasión al PNP por personas provenientes de varios cantones de la provincia de Loja, estos invasores llegaron e instalaron pequeñas fincas que luego eran vendidas a terceros (saraguros y jimbillanos), en ese entonces hombres con experiencia y trayectoria en explotación forestal.

Esta acción de los colonos que llegaron a la ZA de Numbala profundizaron la gravedad de la invasión, puesto que dio inicio a extracción ilegal de madera, tenencia ilegal de los suelos, conflictos socioambientales, condiciones frágiles y precarias de vida, lo que provocó la devastación de los recursos naturales del área protegida (Benitez, 2017).

Así, se dió la iniciación a la agresiva extracción de madera de romerillo en el sur del parque (Numbala), área que alberga un verdadero bosque de gigantes dominado por dos especies de la familia Podocarpus *Retrophyllum rospigliosii* y *Prumnopitys harmsiana*, y es uno de los últimos reductos en la región andina con este tipo de bosque (NCI, 2013). Según (Benitez, 2017) de cada árbol de romerillo se obtenía un promedio de 280 tablones, lo que llevo a determinar que en la zona trabajaban diariamente alrededor de 30 motosierristas, necesitando de 120 a 130 mulas para transportar los tablones hasta Cerro Toledo, lugar de acopio en ese entonces (Sarango, 2000).

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Entonces, en Numbala el extractivismo de madera de romerillo es realizado por personas oriundas de Jimbilla y Saraguro, los mismos que realizan la actividad con visión económica, de forma empírica y sin criterio alguno de conservación y manejo de bosques.

Por otro lado, la minería ilegal dentro del parque es uno de los factores que predominan hasta la actualidad, en la década de 1980 el gobierno ecuatoriano otorgó varias concesiones mineras dentro del Parque Nacional Podocarpus, pese a ser un trámite totalmente ilegal. El problema comenzó con una empresa llamada Cumbinama S.A. en el año de 1985 cuando dicha empresa obtuvo la prospección y explotación de permisos, la misma trabajó en el parque hasta el año 1990. Meses después vendió su concesión a una empresa conocida en ese entonces como Rio Tinto Zinc (RTZ) misma que abandona la zona y el país en el año de 1993 luego de sus fallidos intentos por obtener nuevas concesiones dentro del parque. En el mismo año, la ONG Arcoíris atrajo atención internacional del Tribunal de Garantías Constitucionales y pudo influenciar en la eliminación total de las concesiones mineras, consiguiendo expulsar a las dos compañías mineras señaladas anteriormente que operaban dentro del parque, actualmente dicha fundación trabaja en campañas nacionales e internacionales para proteger esta zona (ARCOIRIS, 2014). Finalmente, en el año 2010 con la ayuda de las fuerzas armadas el gobierno desplazó a los mineros de la zona de San Luis (zona de mayor interés para los mineros artesanales) en el interior del PNP.

En septiembre del año 2012, funcionarios del PRAS (Programa de Regulación Ambiental y Social) conjuntamente con MAATE y funcionarios de la Agencia de Regulación y Control Minero (ARCOM) realizaron un macrooperativo de minería ilegal en el PNP, sector San Luis de la parroquia El Porvenir del Carmen, cantón Palanda. Se encontró un campamento minero

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

rápidamente implementado, se evidenció la introducción de maquinaria minera, apertura de caminos y senderos y la extracción del material minero acopiado en sacos de yute, todo esto causa un impacto ambiental negativo muy difícil de remediar y reparar, siendo indispensable la implementación de medidas compensatorias (PRAS, 2012).

Se constató, además la presencia de ranchos provisionales hechos con plásticos y madera, alimentos no perecibles, ropa, utensilios de primera necesidad, fogones, tablones improvisados a manera de camas, leña proveniente del lugar, detonadores y explosivos, cilindros amalgamadores conocidos como chanchas, motobombas, gas, entre otros. Los puntos donde se hacían actividades mineras de manera ilegal – artesanal está dentro del bosque de neblina montano de los andes orientales, en pleno corazón del parque; se evidenció también la contaminación y disminución de las quebradas que desembocan en el río San Luis, aguas utilizadas para el lavado de oro por lo mineros, además se observó una notable erosión de los suelos, debido a la remoción de la capa superficial, tala de árboles y encausamiento artificial de las aguas naturales (MAATE, 2012).

Según reportes del MAATE, en el período 1990 - 2000 se deforestó 316,3 ha, lo que representa 0,21% de la superficie general del PNP, por otro lado, datos del período 2000 – 2008 demuestran que el área deforestada se duplicó a 761,06 ha, representando un 0,5% de la superficie total del PNP (MAATE, 2020b).

Personal del PNP aseguran que la colonización inducida en zonas específicas del parque, la fiebre del oro, apertura de vías como de senderos y caminos al interior del mismo, extracción de madera, tablones, listones finos, ha impactado directamente en la conservación del parque. Sin embargo, la misma población aledaña al lugar menciona que a pesar de ser ellos mismos

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

quienes realizan prácticas intensivas de uso de la tierra, realizar actividades de monocultivo, lamentables sequías y desertificación de los suelos han permitido y autorizado a las autoridades a que se inicie una gestión y comisión participativa de la conservación e implementación de prácticas productivas de bajo impacto como el turismo y producción agrícola y pecuaria a pequeña escala.

En un estudio realizado por la Universidad Técnica Particular de Loja en la Reserva Privada Madrigal del Podocarpus, asentada al norte del PNP (parte de la zona de amortiguamiento) determinó que en dicha zona se registró la presencia de osos de anteojos (aproximadamente 15 osos identificados por sus manchas que son como huellas digitales), especie emblemática y dominante del PNP, conocida también como especie paraguas, pues su presencia determina el buen estado de conservación del ecosistema, así también, dicha investigación arrojó la presencia de otras especies como lobo de páramo (*Lycalopex culpaeus*), tapir de montaña (*Tapirus pinchaque*) y el jaguar (*Panthera onca*) (Aguilar, 2017). En efecto, lo que dicho estudio demostró fue que el oso de anteojos se ha visto obligado a salir del área protegida y acercarse a las partes bajas de la zona de amortiguamiento por falta de alimento y por la presión del hombre al afectar su hábitat.

Otros puntos de interés para dicho estudio destacan Imbana (norte del parque), la Reserva Tapichalaca (sector de Sabanilla al sur del parque), Cajanuma y Nangaritza (zona baja), se concluyó que no en todos los puntos de análisis se encontró oso de anteojos, pero si otras especies, por ejm., en Nangaritza se captó al jaguar, en Imbana se observó demasiada fragmentación del bosque y conflicto oso – sociedad.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Por otra parte, según el MAATE, son grandes fragmentos superficiales del PNP que se mantienen en buenas condiciones de conservación, esto se debe a que las zonas geográficas del sector son excesivamente abruptas, dicho por los colonos, difícilmente accesible al corazón del parque. Además, las vías de acceso y que rodean al parque se encuentran ubicadas en la zona de amortiguamiento, específicamente en poblados, por lo que la naturaleza viva dentro del parque como tal se mantiene relativamente aislada (Entrevistado 1).

Es importante hablar sobre los ecosistemas proveedores de agua que están ubicados dentro del PNP. Por una parte, el municipio de Loja está preocupado por las microcuencas en la zona de amortiguamiento, pues actualmente son afectadas principalmente por la deforestación, prácticas agropecuarias intensivas, incendios forestales con el fin de obtener áreas para sembríos, todo esto provoca contaminación orgánica y presencia de sedimentos en el agua que llega a la ciudad, señala el técnico responsable del departamento ambiental del municipio de Loja. GADs cantonales como Zamora, Nangaritza y Palanda han sumado fuerzas para proteger los cuerpos hídricos aledaños al PNP, además han incluido en sus compromisos institucionales procesos de conservación y protección en beneficio directo al parque, además le han dado un enfoque turístico a los diferentes sitios que se encuentran ubicados en territorios de los GADs con el único interés de preservar los paisajes propios del parque (Entrevistado 2).

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran la dinámica y análisis de las coberturas período 1989 – 2001 y 2001 – 2020 en el Parque Nacional Podocarpus y su zona de amortiguamiento o área no protegida.

4.1. Uso actual del suelo y cobertura vegetal

En base al presente trabajo de investigación se logró comprobar que han existido cambios demostrativos de uso de suelo y cobertura vegetal en el PNP y su zona de amortiguamiento, claramente se evidencian pérdidas en las áreas de bosque, mientras que los pastizales y mosaicos agropecuarios han incrementado sus áreas de cobertura. Así pues, todas estas afectaciones son resultado y producto directo de las diferentes actividades antropogénicas propias del área de estudio, lo cual dinamiza la economía local y desarrollo de sus habitantes, pero a su vez atenúa el deterioro del hábitat natural del parque.

El análisis espacio temporal del área de estudio a través de imágenes de satélite Landsat 5, 7 y 8 demostró estas afectaciones en el PNP, observándose los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal de la zona en los años 1989, 2001 y 2020. Estos cambios y resultados pueden corroborarse con el análisis de los datos publicados en (Sierra et al., 2021), que aseguran la disminución de la cobertura boscosa a causa de los cambios de bosque a tierra agropecuaria, así mismo confirman que en el país las áreas deforestadas fueron modificadas a áreas productivas, dado que entre el año 1990 y 2010 la producción agropecuaria incrementó de una forma incesante, confirmando de esta manera que el cambio de bosque a tierras agrícolas es la principal causa que afecta a los bosques del país.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

La zona de investigación, específicamente el PNP conserva una cobertura forestal importante actualmente, sin considerar la zona de amortiguamiento, lo que se puede verificar en (Sierra et al., 2021) quienes aseguran que en el año 2018, la región natural menos deforestada era la región amazónica, con una remanencia de aproximadamente 83% de la superficie forestal original. Cerca del 48% del área forestal nativa se mantenía en la región andina, sobre todo en las estribaciones orientales de los andes.

Sin embargo, estudios realizados por la Universidad Técnica Particular de Loja, concluye que alrededor del 46% de la cubierta forestal nativa del sur del país se convirtió a pastizales y otros tipos de coberturas. Así mismo, dicha investigación demostró que la tasa de deforestación anual fue del 0,75% entre 1989 – 2008 y 2,86% para 1989 – 2008 lo que ubicó al área de estudio bajo amenaza grave (Tapia et al., 2015), así pues, los resultados expuestos en ésta investigación demuestran que efectivamente la cobertura de bosque fue transformada a zonas de cultivos y pastizales entre 1989 y 2020.

En cuanto a la investigación realizada por (López et al., 2020) donde estudian el Bosque Protector Corazón de Oro, espacio protegido contiguo al PNP, demuestran que la configuración del paisaje varía independientemente de la composición, lo que fácilmente puede alterar la disposición espacial, el tamaño de las áreas de transición y este a su vez afecta la dinámica del paisaje con implicaciones para el flujo de energía y la función del hábitat. Dichos resultados demostraron que según la codificación asignada a cada clase como arbusto y vegetación de páramo se mantuvo relativamente sin cambios durante el período de estudio (1989 – 2016), al contrario, entre 1989 y 2001 se produjeron cambios en la cobertura de bosque y pequeños fragmentos de páramo provocados principalmente por incendios,

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

disturbios y la expansión de la ganadería, motivo de preocupación en la comunidad; lo que en pequeña medida se relaciona con nuestra investigación, puesto que la cobertura bosque fue la que sufrió cambios en su estructura natural.

Nuestros hallazgos demuestran que algunos aspectos de la configuración del paisaje varían independientemente de la composición. Sin embargo, lo más importante es que mostramos que la formación y reducción de áreas protegidas puede alterar la disposición espacial y el tamaño de las áreas de transición, lo que, a su vez, puede afectar la dinámica del paisaje con implicaciones para el flujo de energía y la función del hábitat. El conjunto de métricas de paisaje utilizadas en este estudio son eficaces indicadores que pueden ayudar a los administradores a monitorear el desempeño de las áreas

Para el año 2001 la cobertura bosque cubría el 76% del territorio, y los pastos el 12%; mientras que para el año 1989 la cobertura forestal era del 77% y los pastos el 11%. Cabe mencionar que las extensiones de pastos y cultivos se encuentran en la zona de amortiguamiento del parque, lo que demuestra que el régimen de protección establecido para un área protegida es efectivo, pero no suficiente.

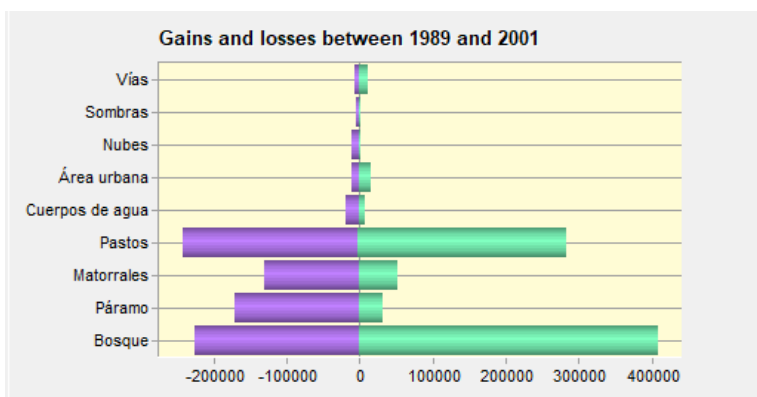
4.2.Cambio de uso del suelo

Para el período 1989 – 2001, se determina que la ganadería es el promotor del cambio de uso del suelo. Es importante señalar que la mayoría del Parque Nacional Podocarpus no está desequilibrada, son algunas secciones que se encuentran afectadas por agricultores, ganaderos y por la apertura de vías, claramente observados alrededor del área protegida y que fácilmente con el tiempo pueden proyectarse hacia el interior del parque.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

El pasto y bosque son las categorías que poseen mayor representación respecto a ganancias (se presentan en color morado) y pérdidas (se presentan en color verde menta) como se observa en la figura a continuación.

Figura 15. Ganancias y Pérdidas de uso del suelo período 1989 – 2001



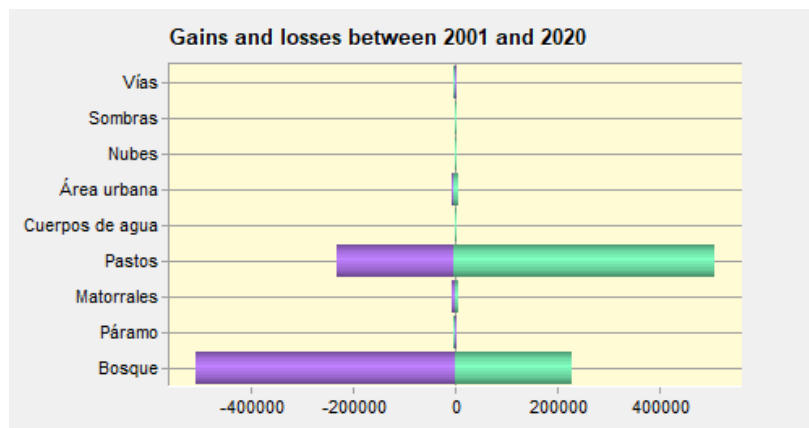
Fuente: El Autor

El cambio de uso del suelo período 2001 – 2020 la frontera de pastos y cultivos se expanden fácilmente en los alrededores del área protegida, el bosque se ha recuperado (Figura 16), sobre todo en espacios que han sido destinados para ser conservados y protegidos bajo estrictas políticas de conservación.

Para Lambin et al. (2010) el cambio del uso de la tierra no tiene una teórica única que la explique con facilidad, pero si considera que la colonización es una de las precursoras de sus causas, asociado directamente a relaciones de poder desigual.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 16. Ganancias y Pérdidas de uso del suelo período 2001 – 2020

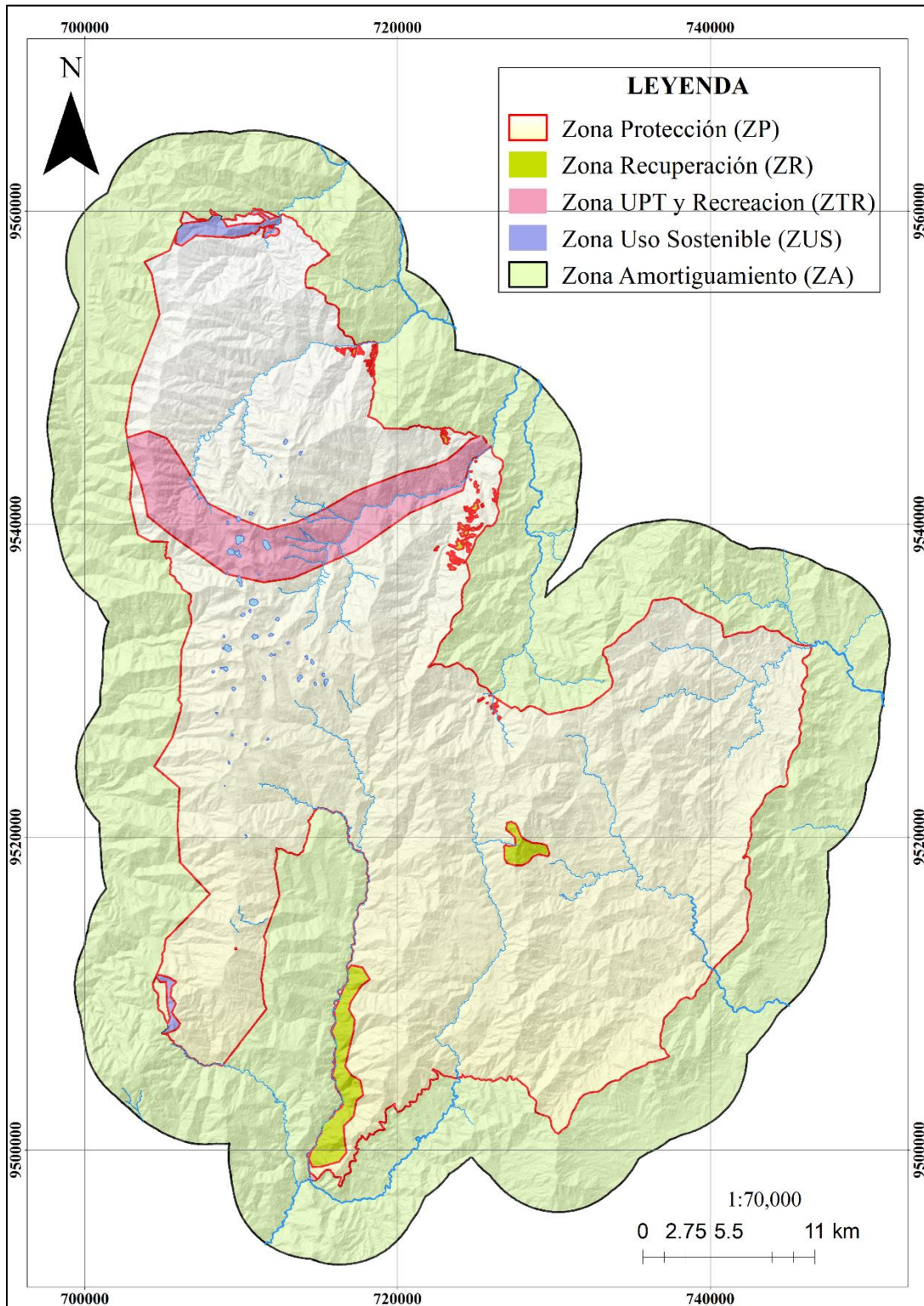


Fuente: El Autor

Es importante hablar sobre las diferentes zonas del PNP y como ha influenciado en el cambio del suelo del parque, según el Plan de Manejo Ambiental vigente, la zonificación privilegia la protección del bosque y el páramo, que se encuentran en un buen estado de conservación, y por lo tanto aseguran el mantenimiento de los objetos de conservación (como las especies paraguas oso andino, tapir y puma, entre otras). Así mismo, la zonificación prioriza las microcuencas y sistemas lacustres, de relevancia para los ciclos hidrológicos y el balance hídrico de la región, y de gran importancia para las comunidades y ciudades aledañas por ser su fuente principal de agua (MAATE, 2020b). La Figura a continuación detalla las zonas del parque:

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 17. Zonificación territorial del Parque Nacional Podocarpus



ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

La zona de protección cubre las áreas de ecosistemas de páramo y bosque dentro del PNP y constituye casi la totalidad de la superficie, esta zona esta exclusivamente dentro del parque y en ella no se permite ninguna actividad productiva ni extractiva. La zona de recuperación es un territorio altamente fragmentado, compuesta por infraestructura civil y red vial; cabe señalar que esta zona comprende además áreas que han sido intervenidas por el hombre para realizar actividades mineras y aprovechamiento forestal ilegal y que en lo posterior serán destinadas a la reparación y restauración ambiental.

La zona de uso público, turismo y recreación está conformada por sitios de visita en lugares considerados como atractivos turísticos y potenciales, los mismos que han sido identificados y se encuentran vigentes en la actualidad (Cajanuma, Bombuscaro, Cueva de los Tayos, Paredones, cascadas San Luis, San Vicente y Palto). La zona de uso sostenible son áreas que tienen un grado de alteración humana, sobre todo por asentamientos humanos, la agricultura, el pastoreo de ganado e infraestructura vial y red de telecomunicaciones. El principal objetivo es que estas prácticas ya existentes sean manejadas y aprovechadas de manera sostenible, evitando la expansión de las mismas.

Finalmente, la zona de amortiguamiento que son zonas que pueden o no tener remanentes de vegetación natural boscosa o arbustiva; a pesar de encontrarse fuera del área protegida propiamente dicho, cumplen funciones de protección hídrica y conservación de ecosistemas y biodiversidad (MAATE, 2020b).

4.3. Análisis de deforestación

Referente a la deforestación, según el MAATE (2017) la tasa anual de deforestación en Ecuador continental fue de -0,65% entre 1990 – 2000, de -0,58% entre 2000 – 2008 y de -

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

0,46% entre 2016 – 2018; para la provincia de Loja una deforestación anual de 3 860 ha entre 1990 – 2000, de 3 635 ha entre 2000 – 2008 y de 2 183 ha entre 2016 – 2018, finalmente para la provincia de Zamora Chinchipe una deforestación anual de 6 513 ha/año entre 1990 – 2000 ha/año, de 7 166 ha entre 2000 – 2008 y de 6 864 ha entre 2016 – 2018.

Los resultados obtenidos en ambos periodos de estudio muestran que el PNP presenta una deforestación mucho más baja de la señalada a nivel nacional y provincial, con una tasa anual de deforestación de -0,08% (53.97 ha/año) entre 1989 – 2001, mientras que, para el período 2001 – 2020 una tasa anual de deforestación de -0,15% (220.43 ha/año). Estos valores bajos demuestran que la mayor superficie boscosa se encuentra dentro del PNP, a diferencia de la zona de amortiguamiento, zona donde se desarrolla prácticas agropecuarias y posiblemente por la cercanía a centros poblados y vías de segundo y tercer orden.

A nivel nacional, en la década de los 1990s, la cobertura de bosque nativo disminuyó de 69.6% (deforestación anual neta de 1291.5 km²) del total de la superficie forestal de estado ecuatoriano al 60.7% para el año 2008 (Sierra, 2013).

Sierra (2013) explica cuatro factores claves para entender los cambios de uso del suelo: 1) transformación de la economía y sociedad del país de agraria a urbana, 2) mejoras en accesibilidad de algunos sectores rurales del país, 3) caída de tasas de crecimiento poblacional y de natalidad, y 4) cierre de la mayoría de las fronteras de colonización debido al acceso de derechos de propiedad o territorios forestales de importancia nacional.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

No existe una teoría insuperable que explique a detalle e integradamente la deforestación y el cambio del uso de la tierra, sin embargo, en este estudio de investigación se explica por medio de cuatro sectores estratégicos los principales factores que intervinieron en el proceso de deforestación del PNP y su zona de amortiguamiento.

Se definió: sector 1 al cantón Loja, sector 2 cantón Zamora, sector 3 cantón Nangaritza y sector 4 al cantón Palanda. Entre las presiones al *sector 1*, destaca el sector El Tiro donde se realiza tala de romerillo y en los espacios libres se realiza pastoreo de ganado, lo que claramente no permite la recuperación del bosque, en el caso de Cajanuma, Cerro Toledo, Sabanilla y Toronche gracias a las fuertes y difíciles pendientes y poca accesibilidad, el bosque no ha podido ser remplazado fácilmente.

En el *sector 2* la mayoría son familias dedicadas a producción agropecuaria, parte de la superficie de las fincas familiares aún conserva pequeños estratos de vegetación original, destinando solo cierta área para sus prácticas. El *sector 3* es la superficie menos intervenida, finalmente el *sector 4* posee una directa invasión ilegal desde el PNP hasta el río de Numbala, en sectores como quebrada Honda se han construidos difíciles accesos a las fincas, el uso de mulas y caballos compactan el suelo y crean profundas trochas, en la zona de Valladolid el bosque ha sido altamente transformado en zonas aptas para pastizales.

De igual modo, la extracción de madera en la parte sur de la ZA es una zona ideal que satisface la demanda local y regional de madera, además de cubrir la demanda de leña y carbón, en el cantón Palanda además del romerillo se está talando cedro sobre todo en lugares como quebrada Honda, Valladolid y Loyola, el problema se agranda cada vez más con la apertura de vía que va desde Cerro Toledo hasta Numbala alto y bajo (zona donde abunda

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

los últimos romerillos gigantes). En la zona norte, por el río San Francisco (fácil acceso) hay indicios de tala de romerillo. Como resultado, especies emblemáticas del PNP como cascarilla, romerillo, huantaco, guayacán, nogal y chachacomo se han reducido en la zona de amortiguamiento.

La presencia y permanencia de colonos ubicados en los exteriores del área protegida generan presión sobre la funcionalidad normal del parque, puesto que algunos predios quedaron incluidos dentro del área al momento de su creación, los mismos que mantienen sus trabajos de campo, lo cual no incide mayormente.

Finalmente, la actividad minera es una de las mayores presiones al sur del parque, en la década de los ochenta inician los primeros trabajos, a partir de entonces se han incrementado e intensificado, constituyendo una amenaza para los ecosistemas únicos del área y sobre todo a los cuerpos hídricos que recogen grandes descargas de sedimentos, productos de la minería y sus desechos.

San Luis, que inicia en la Cordillera de Tunantza, ubicado en el corazón del PNP, es uno de los lugares devastados por la minería, ahí se han realizado monitoreos de suelo y agua, resultados que arrojaron niveles de Mercurio (Hg) entre 150 – 170 veces mayor que los permitidos por la OMS, especies animales como la pava barbada (*Penelope barbata*), especie bioindicadora de salud ambiental se encuentra amenazada, pues en el sitio de San Luis se han identificado abundantes nidos de la especie.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Otros lugares como Sabanilla, Loyola, Curintza, y El Porvenir del Carmen son comunidades donde todavía se práctica la minería aluvial, es claro que la amenaza minera continúa latente dentro del parque, a pesar de ser declara área protegida de interés nacional.

Se puede concluir que las áreas protegidas funcionan como una defensa viva frente a la deforestación y sus procesos, principalmente en áreas con altas densidades poblacionales, sin embargo, esto no significa que dichas AP tengan una máxima eficacia para su conservación y manejo, por lo que, pese a los esfuerzos del gobierno, se requiere aún interés para evitar la pérdida total de los bosques nativos (Cuenca & Echeverria, 2017).

En definitiva, según los resultados obtenidos en el análisis multitemporal se logró aportar con información válida y actualizada sobre los cambios de uso de suelo encontrados en el PNP y su zona de amortiguamiento, y como los mismos son fruto de las acciones del hombre. Hay que destacar que al realizar este tipo de investigaciones se presentaron algunas condiciones, una de ellas y la más importante es la selección de imágenes satelitales de la zona de análisis, debido a que gran parte de las escenas presentan complicaciones climatológicas, distorsiones, ruido o polvo atmosférico, lo que impedía conseguir imágenes a detalle; además, investigar y encontrar información histórica de la zona de estudio no fue nada sencillo, puesto que ésta área no ha sido de mucho interés para los investigadores.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

5. Conclusiones

- Se utilizaron tres escenas de imágenes de satélite obtenidas en United States Geological Survey “USGS GloVis”, siendo de Landsat 5 para el año 1989, para el año 2001 Landsat 7 y una tercera escena de Landsat 8 para el año 2020, todas las imágenes fueron corregidas según la metodología propuesta anteriormente, por lo que en base a ello se logró identificar todas las coberturas de suelo en el PNP.
- El bosque nativo del Parque Nacional Podocarpus y su zona de amortiguamiento evidenció una disminución del 1% de su cobertura en el período de 12 años (1989 – 2001) donde se perdieron aproximadamente 647.75 ha de bosque, lo que representa una tasa de deforestación de - 0.08% que corresponde a una pérdida de 53.97 ha/año; mientras que para el período 2001 – 2020 (19 años) la pérdida de cobertura de bosque fue de 4,188.2 ha, lo que equivale a que anualmente se talaron 220.43 ha/año, con una tasa de deforestación de -0.15%.
- La tasa de deforestación del Parque Nacional Podocarpus es relativamente menor comparada a otros parques nacionales del Ecuador.
- Gracias a los mapas de cobertura del suelo año 1989, 2001 y 2020 se pudo evidenciar que es la zona de amortiguamiento quien presenta una cobertura que se ha venido degradando y transformando hacia otros usos.
- Los procesos de deforestación dentro y fuera del PNP está relacionado directamente con el incremento de la densidad poblacional.
- El desarrollo de las actividades antropogénicas como el incremento de actividades agropecuarias, aumento de centros poblados, apertura de vías y caminos, tala de madera, cacería en menor escala, minería aluvial e ilegal son las principales causas de la pérdida

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

del bosque en el Parque Nacional Podocarpus, lo que en efecto provoca la deforestación y fragmentación del hábitat.

- Hay indicios de que existen áreas al interior del PNP ocupadas por campesinos, agricultores y ganaderos, además, se realizan actividades artesanales de explotación minera, aunque a lo largo del tiempo se ha reducido gracias a la intervención de Fuerzas Armadas conjuntamente con entidades responsables de protección del parque.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

6. Bibliografía

- Aguilar, D. (2017, February 20). *Oso de anteojos: entre el peligro y la supervivencia en el sur de Ecuador*. <https://es.mongabay.com/2017/02/oso-anteojos-peligro-la-supervivencia-sur-ecuador/>
- ArcGIS. (2020). *Procesar salida clasificada*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/spatial-analyst/image-classification/processing-classified-output.htm>
- ARCOIRIS. (2014, April 8). *Parque Nacional Podocarpus y la minería, Ecuador*. <https://ejatlas.org/conflict/podocarpus-national-park-and-mining-ecuador/?translate=es>
- Benitez, E. (2017). Conflictos Socioambientales en el Parque Nacional Podocarpus. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), 18–33.
- BirdLife Internacional. (2021). *Important Bird Areas factsheet: Parque Nacional Podocarpus*. <http://datazone.birdlife.org/site/factsheet/14543>
- Bravo, E. (2014). *La Biodiversidad en el Ecuador* (Editorial Universitaria Abya - Yala (ed.)). Universidad Politécnica Salesiana. [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La Biodiversidad.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La%20Biodiversidad.pdf)
- Caurín, C., & Martínez, M. J. (2013). Análisis del concepto de biodiversidad en los libros de texto de segundo ciclo de primaria en la Comunidad Valenciana (España). *Perfiles Educativos*, 35(141), 97–114. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982013000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- ClarkLabs. (2020). *TerrSet 2020 Geospatial Monitoring and Modeling System*. https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2020/05/TerrSet_2020_Brochure-FINAL27163334.pdf
- Cuenca, P., & Echeverria, C. (2017). How do protected landscapes associated with high biodiversity and population levels change? *PLOS ONE*, 12(7), e0180537. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0180537>

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

- EcuRed. (2013). *Parque Nacional Podocarpus*.
https://www.ecured.cu/Parque_Nacional_Podocarpus#Hidrolog.C3.ADa
- François, J. M., & García, T. J. (2008). Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo en el sureste de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 67, 7–19.
https://www.researchgate.net/publication/38104495_Comparacion_de_metodologias_para_el_mapeo_de_la_cobertura_y_uso_del_suelo_en_el_sureste_de_Mexico
- García, N., García, R., Moreno, R., & González, A. (2002, April 3). *Uso de sensores remotos y SIG para delimitar los cambios en el uso del suelo agrícola de 1970 a 1997 en el estado de Guanajuato*. 92–112.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112002000100007
- Gómez, E., Navas, D., Aponte, G., & Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna*, 81(184), 158–163.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405022>
- Hogan, V. (2020, September 29). *Ecuador: un país megadiverso*.
<https://www.humansforabundance.com/post/ecuador-un-pais-megadiverso>
- López, S., López-Sandoval, M. F., Gerique, A., & Salazar, J. (2020). Landscape change in Southern Ecuador: An indicator-based and multi-temporal evaluation of land use and land cover in a mixed-use protected area. *Ecological Indicators*, 115(May).
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106357>
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *Https://Doi.Org/10.1080/01431160600746456*, 28(5), 823–870. <https://doi.org/10.1080/01431160600746456>
- MAATE. (2012, September 12). *Operativo contra minería ilegal en área protegida*.
<https://www.ambiente.gob.ec/operativo-contra-mineria-ilegal-en-area-protegida/>

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

MAATE. (2017). *Mapa Interactivo Ecuador Continental*.
<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

MAATE. (2018). *Parque Nacional Podocarpus. Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador*. <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/parque-nacional-podocarpus>

MAATE. (2020a). *PARQUE NACIONAL PODOCARPUS*. Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-podocarpus/>

MAATE. (2020b). *Plan de Manejo del Parque Nacional Podocarpus*.

MAE, & MAGAP. (2015). *Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013 - 2014, escala 1:100.000*.
www.magap.gob.ec

NCI. (2013, January). *Numbala, el último refugio de los Podocarpus gigantes*.
<http://www.naturalezaycultura.org/spanish/htm/news/2013-01-Numbala.htm>

PRAS. (2012). *MACROOPERATIVO DE MINERÍA ILEGAL REALIZADA EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE*.
<http://pras.ambiente.gob.ec/documents/2226667/2346816/podocarpus.pdf/42947151-c9eb-46eb-8488-a597c4853cca>

Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)

Sahagún, F., & Reyes, H. (2018). *Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México Impact of land use cover change on protected natural areas in central region of Sierra Madre Oriental, Mexico*. 12(2), 6–21.

Sierra, R. (2013). *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años*.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31056451/RSierra_DeforestacionEcuador1990-

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

2020_2013-with-cover-page-

v2.pdf?Expires=1643059570&Signature=DYJYc09s1whTWZ4pEskpPk3Vt1Ql6kOx4~NMyiayIOW3iFdr9JIOc30QDl6clQOnBIHt4PM0kWQ5twFsT12pCXMg6Wji8Co1C15hQ6lb~z7C3kJeG

Sierra, R., Calva, O., & Guevara, A. (2021). *La deforestación en el Ecuador 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes*. https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestación_Ecuador_com2.pdf

Tapia, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & De La Cruz, M. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity. *PLOS ONE*, *10*(9), e0133701. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0133701>

Torres, B., Vargas, J., Arteaga, Y., Torres, A., & Lozano, P. (2017). Entendiendo las dinámicas de un paisaje mega-diverso: Amazonía Ecuatoriana. *ResearchGate*, 1–10. http://www.researchgate.net/profile/Bolier_Torres/publication/317649368_Gente_Bosque_y_Biodiversidad_El_rol_del_bosque_sobre_la_biodiversidad_y_las_poblaciones_rurales/links/59a9ea68458515d09cd00d0b/Gente-Bosque-y-Biodiversidad-El-rol-del-bosque-sobre-la-

IUCN. (2015). *Threatened species in each country (totals by taxonomic group) RED LIST*. <https://www.ecopost.info/wp-content/uploads/2016/06/2015-Especies-amenazadas-por-países-RedList-IUCN.pdf>

WCS. (2020, July 18). *El Sistema Nacional de Áreas Protegidas en Ecuador > WCS Ecuador*. <https://ecuador.wcs.org/es-es/Recursos/Noticias/articleType/ArticleView/articleId/14605/El-Sistema-Nacional-de-Areas-Protegidas-en-Ecuador.aspx>

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Ariel, S. A.

Eastman, J. (2012). *IDRISI Selva, guía para SIG y procesamiento de imágenes*. Worcester, USA: Reel.

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Freile, J., & Restall, R. (2018). *Birds of Ecuador*. London: Helm Guides.

Jeffries, M. (1997). Biodiversity and conservation. *Routledge*, 4-6.

Maselli, F., Conese, L., Petkiy, O., & Resti, R. (1992). Inclusion of prior probabilities derived from a nonparametric process into the maximum likelihood classifier. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 58, pp. 201-207.

Sarango, H. (2000). *Informe de manejo forestal de Numbala (Programa Podocarpus)*. Loja, Ecuador: Colores.

Toledo, V. (1994). La diversidad biológica de México. *Ciencias*, 43-59.

Entrevistados

Número 1: Fabricio Plaza (Geólogo, consultor independiente)

Número 2: Ing. Mauricio Jaramillo (Ingeniero Ambiental)

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

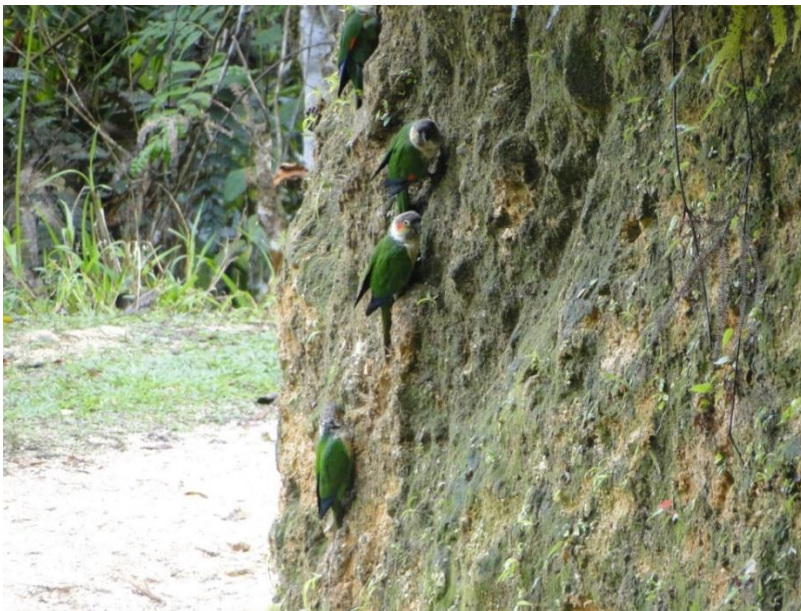
7. Anexos

Figura 18. Cascada la Poderosa, ubicada en la zona de recreación del PNP



(Armijos, 2021)

Figura 19. Loros cuello blanco del PNP



(Armijos, 2021)

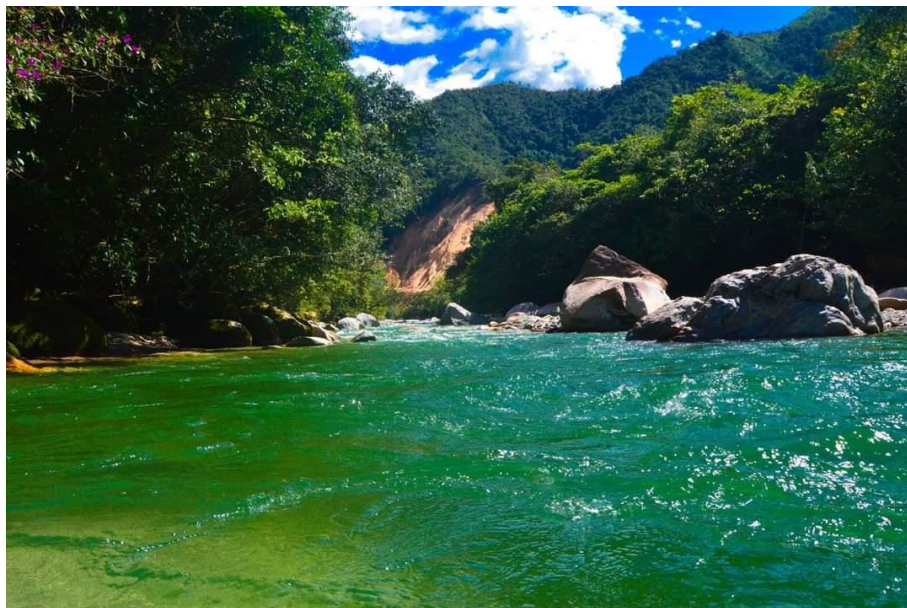
ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 20. Río Loyola



(Armijos, 2021)

Figura 21. Río Bombuscaro (zona de amortiguamiento)



(López, 2022)

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE DEFORESTACIÓN EN EL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS (PNP) Y SU ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

Figura 22. Río Bombuscaro sector El Limón



(López, 2022)