TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

"EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS PARA RESTAURACIÓN EN LA ZONA RESERVADA BOSQUE DE ZÁRATE (HUAROCHIRÍ – LIMA)"

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:

Alisson Grecia Sosa Romero (0000-0003-1209-166X)

Nahomi Alejandra Vasquez Santillan (0000-0002-6813-385X)

Asesor:

Mario Fernando Jesus Caceres Reyna (0000-0002-3599-7328)

Lima – Perú

2026

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 14 de julio del 2026.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: Dra. Sandra Duarte Guardia
Miembro: Dr. Pablito Marcelo López Serrano
Miembro: Mg. Lourdes Yesenia Falen Horna

Se reúnen para evaluar la tesis, con código de proyecto PRE-11-2024-00504, titulada :

"EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS PARA RESTAURACIÓN EN LA ZONA RESERVADA BOSQUE DE ZÁRATE (HUAROCHIRÍ – LIMA)"

Presentada por la/el estudiante/bachiller:

- **Alisson Grecia Sosa Romero**
- **Nahomi Alejandra Vasquez Santillan**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesorado por: Ing. Mario Fernando Jesús Caceres Reyna

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño del tesista de la carrera de Ingeniería Ambiental en la sustentación, concluyen de manera unánime (x) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Alisson Grecia Sosa Romero & Nahomi Alejandra Vasquez Santillan		Nota (en letras):17 (diecisiete)	
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (x)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Dra. Sandra Duarte Guardia
Presidente

Dr. Pablito Marcelo López Serrano
Miembro 1

Mg. Lourdes Yesenia Falen Horna
Miembro 2

Ing. Mario Fernando Jesús Caceres Reyna
Asesor

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DEL INFORME FINAL DE TESIS / TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (versión 2.0) [1]

Lima, 27 de agosto del 2026

Señor,
Dr. Percy Mayta Tristan
Vicerrector de Investigación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Los abajo firmantes – Nahomi Alejandra Vasquez Santillan y Alisson Grecia Sosa Romero, egresada(s) del Programa académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad Científica del Sur, y el asesor de tesis Mario Fernando Jesús Caceres Reyna – declaramos que este informe final de tesis titulado "Evaluación e Identificación de Áreas Degradadas para Restauración en La Zona Reservada Bosque de Zárate (Huarochirí – Lima)", que presentamos para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero ambiental, es original.

En consecuencia, declaramos que el informe no contiene plagio ni total ni parcial; que, cuando se utilizó información de fuentes externas, se reconoció su autoría mediante la citación correspondiente; y que los resultados obtenidos son producto íntegro de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo ello en cumplimiento del Código de ética en la Investigación, Reglamento de Disciplina de Pregrado y Posgrado, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [2], que afirmamos conocer en su totalidad.

Declaramos, además, que no se han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), ni generativas ni de ningún otro tipo, en ninguna fase del desarrollo de la investigación ni en la redacción del informe final de tesis/trabajo de investigación. Todo el material contenido en este informe fue elaborado íntegramente por los autor(es), sin asistencia de herramienta alguna de IA.

Declaramos, además, que no se han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA) generativa, de forma parcial ni total, en ninguna fase del desarrollo de la investigación ni en la redacción del informe final de tesis/trabajo de investigación. Sí declaro haber utilizado herramientas de IA no generativa para [describir el uso específico: p. e., corrección ortográfica y de estilo, gestión de referencias, traducción, etc.], conforme a la normativa de la Universidad [3]. Todo el material ha sido revisado por los autor(es), quien(es) asume(n) la responsabilidad de su contenido.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, uso indebido de IA generativa o uso no declarado de IA, nos sometemos al proceso de investigación que establezca la Universidad y aceptamos las sanciones que pudieran corresponder. También declaramos conocer las normativas institucionales que regulan las sanciones aplicables en estos casos, incluido el de la compra y venta de tesis.

Firmamos en conformidad con lo declarado,

[1] En conformidad con la Resolución del Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD
[2] Los documentos están en: https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/3652
[3] GEA-GIE-POL-05 Política del uso de inteligencia artificial



Firma tesista
Nahomi Alejandra
Vasquez Santillan
DNI: 70447801



Firma tesista
Alisson Grecia
Sosa Romero
DNI: 74129027



Firma del asesor de tesis
Mario Fernando Jesús
Caceres Reyna
DNI: 71608639

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Evaluación e identificación de áreas degradadas para restauración en la zona reservada bosque de Zárate (Huarochirí – Lima)

Autores. Alisson Grecia Sosa Romero; Nahomi Alejandra Vasquez Santillan

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 3010810094).

Código de registro. PRE-11-2024-00504

Resultado de la evaluación. 7%

Revisado por. Magaly Kelly Guerrero Huaracallo.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.



Evaluación e identificación

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	7%	5%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	rdi.uncoma.edu.ar Fuente de Internet	1%
5	revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	Arozena Rotta, Aldo Ivan. "Comunidad campesina de San Bartolome y el Bosque de Zarate : Estudio de caso sobre narrativas de valoracion de los recursos naturales en una comunidad de montana de Huarochiri, Lima.", Pontificia Universidad Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru), 2021 Publicación	<1%
7	mafiadoc.com Fuente de Internet	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

I. Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, por su apoyo incondicional y motivación constante, y a todas las personas que, con esfuerzo y compromiso, contribuyen a la conservación y restauración del medio ambiente, promoviendo un futuro sostenible para las generaciones venideras.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

II. Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a:

Nuestro asesor de tesis, por su guía, paciencia y valiosas orientaciones durante todas las etapas de la investigación, por su constante disposición para compartir sus conocimientos y su valioso acompañamiento técnico, que contribuyó significativamente al desarrollo y fortalecimiento de este estudio.

El vicepresidente de la Comunidad Campesina de San Bartolomé Victor Manuel Chavez Vivas, por compartir generosamente su conocimiento y experiencias sobre la gestión y conservación del bosque, así como por guiarnos durante el recorrido, brindándonos su tiempo y apoyo en la realización de este estudio.

Nuestras familias, por su apoyo emocional y motivación constante que hicieron posible la culminación de este trabajo.

A la Universidad Científica del Sur y al Laboratorio de Investigación, por brindar el espacio, los recursos y las facilidades necesarias para el desarrollo de esta investigación.

Este estudio no habría sido posible sin la colaboración y compromiso de todos los mencionados, quienes contribuyeron a fortalecer el análisis, la interpretación y la relevancia de los resultados obtenidos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

III. Índice general

VII. Resumen 8

VIII. Abstract 9

IX. Planteamiento del problema 10

X. Marco teórico 13

10.1. Antecedentes 13

10.2. Bases teóricas 17

a. Cobertura vegetal 17

b. Tipos de coberturas vegetales 18

c. Bosque Nublado seco de la vertiente occidental 18

d. Dinámica fenológica de la cobertura vegetal 19

e. Variabilidad climática 20

f. Evolución espacio-temporal 21

g. Área degradada 21

h. Tala ilegal 22

i. Sobrepastoreo 22

j. Restauración ecológica 23

k. Área prioritaria de restauración 23

l. Índices de vegetación 24

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

m. Regresión logística 25

n. F1 Score 25

o. Test de Mann-Kendall 26

XI. Objetivos 27

11.1. Objetivos Generales 27

11.2. Objetivos Específicos 27

XII. Metodología 27

12.1. Área de estudio 27

a. Ubicación y extensión 27

b. Gradiente altitudinal y relieve 29

c. Clima y estacionalidad 29

d. Ecología del área de estudio 31

e. Presiones antrópicas y variabilidad climática 32

12.2. Obtención de datos geográficos y elaboración de mapas temáticos 33

12.3. Visita de campo exploratoria 34

12.4. Selección de imágenes satelitales 35

12.5. Preprocesamiento de imágenes satelitales 36

12.6. Procesamiento de imágenes satelitales 37

a. Evaluación de la cobertura vegetal 38

b. Clasificación supervisada de imágenes satelitales 40

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

c. Identificación de áreas degradadas 42

d. Determinación de áreas prioritarias de restauración 43

12.7. Análisis estadístico 48

XIII. Resultados 49

13.1. Selección de imágenes satelitales 49

13.2. Índice de vegetación 51

a. Análisis comparativo de índices de vegetación 51

d. Selección del índice óptimo 56

13.3. Evolución espacio-temporal de la cobertura vegetal 2000-2023 57

a. Cambios en la cobertura vegetal 57

b. Cobertura vegetal en fase de senescencia 58

c. Cobertura vegetal en fase de rebrote 61

13.4. Áreas degradadas 64

13.5. Áreas prioritarias de restauración 65

13.6. De las visitas de campo 66

13.7. Análisis estadístico 68

a. Índice Kappa 68

XIV. Discusión 70

14.1. Selección del índice más óptimo 70

14.2. Evolución espacio-temporal de la cobertura vegetal 2000-2023 71

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

14.3. Áreas degradadas 74

14.4. Áreas prioritarias de restauración 75

XV. Conclusiones 77

XVI. Recomendaciones 78

XVII. Referencias bibliográficas 80

XVIII. Abreviaturas 106

XIX. Anexos 107

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IV. Índice de figuras

Figura 1. *Mapa de ubicación del área de estudio* 28

Figura 2. *Comparación del F1 score de los índices de vegetación en fase de senescencia* 53

Figura 3. *Comparación del F1 score de los índices de vegetación en fase de rebrote 2000-2023* 53

Figura 4. *Matriz de confusión del NDVI - 2020 (Fase Rebrote)* 54

Figura 5. *Matriz de confusión del NDVI - 2023 (Fase Rebrote)* 55

Figura 6. *Análisis temporal de la vegetación en la fase de senescencia 2000-2023* 59

Figura 7. *Mapa multitemporal de NDVI de la ZRBZ en fase de senescencia 2000-2023* 60

Figura 8. *Mapa multitemporal de la vegetación de la ZRBZ en fase de senescencia 2000-2023* 61

Figura 9. *Análisis temporal de la vegetación en la fase de rebrote 2000-2023* 62

Figura 10. *Mapa multitemporal de NDVI de la ZRBZ en fase de rebrote 2000-2023* 63

Figura 11. *Mapa multitemporal de la vegetación de la ZRBZ en fase de rebrote 2000-2023* 64

Figura 12. *Mapa de áreas degradadas al 2023* 65

Figura 13. *Mapa de áreas prioritarias de restauración* 66

Figura 14. *Mapa del recorrido de campo de la ZRBZ* 68

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

V. Índice de tablas

Tabla 1. *Matriz de criterios, categorías, clases y valores de ponderación* 43

Tabla 2. *Imágenes satelitales seleccionadas* 50

Tabla 3. *Métricas de evaluación de índices de vegetación 2000-2023* 51

Tabla 4. *Promedio y desviación estándar del F1 score de los índices de vegetación* 56

Tabla 5. *Áreas con cobertura vegetal y sin cobertura vegetal 2000-2023* 57

Tabla 6. *Índice Kappa 2000-2023* 69

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

VI. Índice de anexos

Anexo 1. Mapa Distrital de la ZRBZ 107

Anexo 2. Mapa de Comunidades Campesinas de la ZRBZ 107

Anexo 3. Mapa de Clasificación Climática de la ZRBZ 108

Anexo 4. Mapa Hidrográfico de la ZRBZ 108

Anexo 5. Mapa de Ecosistemas de la ZRBZ 109

Anexo 6. Mapa Topográfico de la ZRBZ 109

Anexo 7. Mapa de Flora de la ZRBZ 110

Anexo 8. Mapa de Fauna de la ZRBZ 110

Anexo 9. Autorización emitida por el SERNANP para el desarrollo de investigaciones al interior de la Zona Reservada Bosque de Zárate 111

Anexo 10. Cuestionario de entrevista 112

Anexo 11. Consentimiento Informado para entrevista 113

Anexo 12. Registro fotográfico de visitas de campo 116

Anexo 13. Resolución de aprobación del proyecto de tesis 118

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

VII. Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las modificaciones y el deterioro del estado de la vegetación en la Zona Reservada Bosque de Zárate durante el periodo 2000–2023 mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), con la finalidad de identificar áreas degradadas y priorizar zonas para restauración ecológica.

Se realizó un análisis multitemporal del NDVI utilizando imágenes satelitales Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 (OLI/TIRS). El índice permitió evaluar el vigor y la dinámica de la vegetación, así como detectar cambios espaciales y temporales asociados a procesos de degradación. Complementariamente, se aplicó el coeficiente Mann-Kendall para identificar tendencias de cambio y un análisis multicriterio para delimitar áreas prioritarias de restauración.

Los resultados evidenciaron una reducción de la cobertura vegetal entre 2000 y 2016, coincidente con un contexto de presiones antrópicas históricamente reportadas para la zona, como tala y sobrepastoreo, así como con periodos de variabilidad climática asociados a eventos ENSO; sin embargo, el presente estudio no evaluó de manera directa la contribución relativa de estos factores sobre los cambios observados. Se identificaron 15,3 ha de áreas degradadas y 10,8 ha prioritarias para restauración, concentradas principalmente en el sector oeste y zonas del sureste del bosque.

Los resultados sugieren que la dinámica de la vegetación observada podría estar influenciada por la interacción entre presiones antrópicas, variabilidad climática y condiciones ecológicas. En este contexto, el NDVI demostró ser una herramienta útil para el monitoreo de ecosistemas y la generación de insumos técnicos para la restauración y conservación del bosque.

Palabras clave: NDVI; cobertura vegetal; degradación de la vegetación; tendencias temporales; variabilidad climática; Zona Reservada Bosque de Zárate

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

VIII. Abstract

This study aimed to assess changes and degradation in vegetation cover in the Zona Reservada Bosque de Zárate during the period 2000–2023 using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), with the purpose of identifying degraded areas and prioritizing zones for ecological restoration.

A multitemporal NDVI analysis was conducted using Landsat 7 (ETM+) and Landsat 8 (OLI/TIRS) satellite imagery. The index allowed for the assessment of vegetation vigor and dynamics, as well as the detection of spatial and temporal changes associated with degradation processes. Additionally, the Mann-Kendall test was applied to identify temporal trends, and a multicriteria analysis was used to delineate priority restoration areas.

The results showed a decrease in vegetation cover between 2000 and 2016, coinciding with a context of anthropogenic pressures historically reported in the area, such as logging and overgrazing, as well as periods of climatic variability associated with ENSO events; however, this study did not directly assess the relative contribution of these factors to the observed changes. A total of 15,3 ha of degraded areas and 10,8 ha of priority restoration areas were identified, mainly concentrated in the western sector and southeastern zones of the forest.

The observed vegetation dynamics may be influenced by the interaction between anthropogenic pressures, climatic variability, and ecological conditions. In this context, NDVI proved to be a useful tool for ecosystem monitoring and for generating technical inputs for forest restoration and conservation.

Keywords: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); vegetation cover; vegetation degradation; temporal trends; climatic variability; Zarate Reserved Zone

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IX. Planteamiento del problema

Los ecosistemas forestales desempeñan un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano, al proporcionar servicios ecosistémicos clave como la regulación climática, la captura de carbono y la provisión de recursos naturales (Winkel et al., 2022; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2020). A nivel global, estos ecosistemas enfrentan presiones crecientes derivadas de actividades antrópicas, lo que ha generado una reducción progresiva de la cobertura vegetal y de su funcionalidad ecológica (Hassen et al., 2023). Entre las principales amenazas destacan la tala ilegal y el sobrepastoreo, procesos que afectan la estructura y resiliencia de los sistemas forestales (Alemagi et al., 2010; Martínez-Murillo et al., 2011).

La tala indiscriminada, generalmente asociada a la extracción ilegal de madera, contribuye a la fragmentación de hábitats y a la pérdida de biodiversidad, además de generar impactos económicos significativos (Roman et al., 2020; Thompson y Magrath, 2021). A escala global, una proporción considerable de la madera extraída en regiones tropicales proviene de fuentes no reguladas, lo que representa importantes pérdidas económicas (Sheikh, 2008; Nellemann & INTERPOL, 2012). Por su parte, el sobrepastoreo altera la cobertura vegetal y las propiedades del suelo, limitando la regeneración natural y favoreciendo procesos de degradación progresiva, especialmente en ecosistemas frágiles (Contreras-Hinojosa, 2003; Holechek et al., 2011).

En América del Sur, la degradación de los ecosistemas forestales ha alcanzado niveles críticos, particularmente en la Amazonía, donde la pérdida de cobertura vegetal

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

continúa intensificándose (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021; Fawcett et al., 2023). La deforestación en la Amazonía brasileña ha superado los 10 000 km² anuales en años recientes (Escobar, 2020), mientras que la degradación forestal puede afectar áreas incluso mayores, superando los 60 000 km² en determinados periodos (Matricardi et al., 2020). Asimismo, entre el 30 % y el 40 % de la Amazonía presenta algún grado de degradación (Qin et al., 2021). En paralelo, en ecosistemas andinos y de la vertiente occidental del Perú también se han registrado pérdidas de cobertura y procesos de fragmentación, con reducciones que superan las 3,4 millones de hectáreas de bosque entre 2000 y 2020, incluyendo áreas andinas y costeras (Móstiga et al., 2024; Vera et al., 2024).

En el Perú, la degradación forestal responde a la interacción de múltiples factores, entre los que destacan la deforestación asociada a actividades ilegales y los cambios en el uso del suelo (Smith & Schwartz, 2015; Ministerio del Ambiente [MINAM], 2016). A ello se suma el pastoreo extensivo en zonas andinas, identificado como una presión relevante sobre la cobertura vegetal y los procesos de regeneración natural (Deustua, 2019). Estas dinámicas reflejan limitaciones en la gestión sostenible del territorio, especialmente en ecosistemas de montaña, donde la recuperación ecológica es más lenta (Young & León, 2007)

Adicionalmente, la variabilidad climática influye en la dinámica de la cobertura vegetal al modificar patrones de precipitación, humedad y disponibilidad hídrica (IPCC, 2021; Vuille et al., 2018). En los bosques montanos, estos cambios afectan procesos clave como la captación de niebla y la regulación hídrica, reduciendo la resiliencia del ecosistema frente a perturbaciones (Bruijnzeel et al., 2011; Bubb et al., 2004). La

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

interacción entre factores climáticos y presiones antrópicas incrementa la vulnerabilidad de estos sistemas y condiciona su capacidad de recuperación (Fawcett et al., 2023; IPCC, 2021).

En este contexto se encuentra la Zona Reservada Bosque de Zárate (ZRBZ), ubicada en el distrito de San Bartolomé, provincia de Huarochirí (Lima), constituida como uno de los relictos más importantes de bosque montano en la vertiente occidental de los Andes peruanos (Gonzáles, 2024). Este ecosistema destaca por su alta biodiversidad, endemismo y su función en la regulación hídrica local (Arozena, 2015; Calero, 2018; Mires, 2016). Sin embargo, mantiene la categoría de Zona Reservada desde 2010, lo que implica un estatus transitorio que requiere estudios técnicos que sustenten su categorización definitiva y orienten su gestión (MINAM, 2010).

Diversos estudios han reportado la presencia de presiones como el sobrepastoreo y la tala en la zona, asociándolas a cambios en la cobertura vegetal y procesos de degradación (Arozena, 2015; Calero, 2018; Jiménez-Carlos et al., 2024; Mires, 2016). Asimismo, la población local identifica estas actividades, junto con la variabilidad climática, como factores que inciden en la disminución de la vegetación (Chávez, vicepresidente de la Comunidad Campesina de San Bartolomé, comunicación personal, 2025). Sin embargo, estas relaciones han sido descritas como factores reportados y no constituyen necesariamente relaciones causales directas cuantificadas.

En este sentido, se hace necesario evaluar el cambio y la degradación de la cobertura vegetal en la ZRBZ, con el fin de reducir el vacío de información existente sobre la dinámica de transformación del Bosque de Zárate y generar información técnica que puede servir como insumo para la evaluación de su categoría de manejo. Asimismo, este

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

estudio busca aportar evidencia cuantitativa, herramientas cartográficas y criterios técnicos que contribuyan a la comprensión de la evolución de la cobertura vegetal en el periodo 2000–2023 y constituyan un insumo para el desarrollo de futuras investigaciones orientadas al análisis de los factores potencialmente asociados a su degradación.

X. Marco teórico

10.1. Antecedentes

A nivel internacional, diversos estudios han empleado índices de vegetación derivados de sensores remotos, especialmente el NDVI, para evaluar cambios en la cobertura vegetal y procesos de degradación forestal mediante imágenes satelitales multiespectrales de los sensores Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) y Landsat 8 Operational Land Imager (OLI), con resolución espacial de 30 m y uso de bandas del rojo e infrarrojo cercano (NIR). Huang et al. (2017), mediante imágenes Landsat TM, ETM+ y OLI de 30 m de resolución y Google Earth Engine, analizaron la dinámica de la cobertura vegetal en Beijing entre 1985 y 2015, identificando un incremento de 1090,38 km² de áreas con recuperación vegetal y una reducción de 1402,28 km² asociada a expansión urbana, a partir de series temporales de NDVI.

Asimismo, Becker et al. (2021) utilizaron imágenes Landsat 8 OLI de 30 m de resolución y combinaciones de bandas espectrales del rojo e infrarrojo cercano para el cálculo del NDVI en la identificación de áreas erosionadas en Brasil, alcanzando una precisión de clasificación del 90 % y un índice Kappa de 0,9867. Por su parte, Biswas et al. (2023) emplearon imágenes Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, ambas de 30 m de resolución,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

utilizando NDVI derivado de las bandas espectrales del rojo e infrarrojo cercano para evaluar cambios de cobertura y uso del suelo en Bangladesh, registrando incrementos anuales de áreas urbanas entre 0,42 % y 4,80 %, junto con una reducción de superficies agrícolas y cuerpos de agua.

De igual manera, Huete et al. (2002), en la validación global del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) utilizando datos del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) con resoluciones espaciales de 250 m y 500 m, señalaron que el NDVI mantiene un desempeño robusto, alta consistencia histórica y amplia aplicabilidad para el monitoreo de la vegetación. Posteriormente, Jiang et al. (2008) compararon el desempeño del NDVI y el EVI utilizando datos MODIS de 250 m y 500 m de resolución, en ecosistemas con distinta densidad vegetal, encontrando que, aunque el EVI presenta ventajas en coberturas extremadamente densas, el NDVI mostró mayor estabilidad temporal y facilidad de interpretación para estudios multitemporales de cambio de cobertura vegetal. Finalmente, Glenn et al. (2008), a partir de imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+ con resolución espacial de 30 m, reforzaron estas conclusiones al destacar la amplia validación científica del NDVI, su compatibilidad histórica con sensores Landsat y su utilidad en estudios de series temporales de cobertura vegetal.

En el contexto peruano y andino, Campos et al. (2018) utilizaron imágenes Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI de 30 m de resolución para el análisis multitemporal del Parque Nacional Cerros de Amotape (Tumbes y Piura), el cual presenta bosque seco tropical con vegetación arbórea, arbustiva y matorrales xerofíticos, identificando una disminución de coberturas con NDVI altos (vegetación densa) y un incremento de áreas con baja respuesta espectral, asociadas a suelos desnudos y vegetación rala, proceso atribuido al

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

déficit hídrico y presión antrópica. Posteriormente, Huaman (2021) empleó imágenes Landsat 8 OLI de 30 m de resolución para evaluar la cobertura vegetal del distrito de Namballe (Cajamarca), caracterizada principalmente por bosques montanos, vegetación secundaria, pastizales y áreas agrícolas, evidenciando una disminución progresiva de la cobertura vegetal asociada a expansión agrícola y explotación forestal, a partir del NDVI calculado con bandas del rojo e infrarrojo cercano.

Finalmente, Pamo-Sedano y Osco-Coa (2022) utilizaron imágenes Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI de 30 m de resolución para el análisis de los bofedales altoandinos de Ancomarca (Tacna), ecosistemas dominados por vegetación hidromórfica y pastizales altoandinos, mediante NDVI, reportando una pérdida de 77,94 ha entre 1990 y 2021. Estos antecedentes evidencian la utilidad de la teledetección y el NDVI para detectar procesos de degradación y transformación de ecosistemas en el Perú. En este contexto, el Perú también cuenta con iniciativas institucionales de monitoreo como el sistema GEOBOSQUES del MINAM, el cual emplea imágenes satelitales de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, con resolución espacial de 30 m y bandas del espectro visible e infrarrojo cercano, para el seguimiento de la pérdida de cobertura forestal a nivel nacional, constituyéndose en una herramienta oficial de alerta y monitoreo de cambios en los ecosistemas forestales (MINAM, 2020).

En relación con el Bosque de Zárate, Pro Naturaleza (2004) identificó a los bosques montanos de la vertiente occidental andina como ecosistemas prioritarios para la conservación debido a su elevada biodiversidad y vulnerabilidad. Posteriormente, el MINAM declaró la ZRBZ mediante la Resolución Ministerial N° 195-2010-MINAM, reconociéndola como uno de los relictos más importantes de bosque montano andino

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

por su relevancia biológica, ecológica e hídrica (MINAM, 2010). Asimismo, Zambrano (2010) registró especies de aves endémicas y de importancia para la conservación, mientras que Franke (2011, 2015, 2019a, 2019b, 2020) destacó la importancia ecológica del bosque y las amenazas asociadas a fragmentación, presión antrópica y cambio climático.

En concordancia con ello, el área ha sido reconocida como un Área de Importancia para la Conservación de las Aves (IBA) y alberga especies amenazadas como el cóndor andino (*Vultur gryphus*) y el dominiquí pechirrufo (*Poospiza rubecula*), catalogadas En Peligro, así como el cotinga cachetiblanco (*Zaratornis stresemanni*), considerado Vulnerable (SERNANP, 2019). Entre ellas, *Z. stresemanni* destaca como una especie emblemática del bosque debido a su rareza y distribución restringida, ya que se han registrado muy pocos individuos incluso tras varios años de observaciones de campo; además, la escasez de registros dificulta comprender plenamente su ecología y estado poblacional, lo que refuerza la importancia de conservar los bosques que utiliza como hábitat (Koepcke, 1954a). Asimismo, *P. rubecula* presenta poblaciones reducidas y una estrecha dependencia de los bosques nubosos secos andinos, hábitats vulnerables cuya conservación resulta fundamental para su supervivencia (Barrio, 1995).

De manera complementaria, Arozena (2015) evidenció tensiones entre conservación y aprovechamiento de recursos en la Comunidad Campesina de San Bartolomé, y Mires (2016) resaltó la vulnerabilidad del ecosistema frente al sobrepastoreo y extracción de recursos. Más recientemente, Jimenez-Carlos et al. (2024) identificaron diferencias en composición y abundancia de flora leñosa entre sectores conservados y áreas con mayor

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

intervención antrópica de la ZRBZ, evidenciando señales de perturbación asociadas a actividades humanas.

En conjunto, los antecedentes revisados evidencian que, si bien existen investigaciones relacionadas con biodiversidad, conservación y servicios ecosistémicos en el Bosque de Zárate, aún persiste un vacío de información respecto al análisis multitemporal y cuantitativo de los cambios de cobertura vegetal mediante índices de vegetación y herramientas de teledetección. Esta limitación dificulta comprender la magnitud y dinámica espacial de los procesos de degradación o recuperación de la vegetación en el ecosistema. En ese sentido, resulta necesario desarrollar investigaciones que empleen imágenes satelitales y NDVI para evaluar los cambios de cobertura vegetal en el Bosque de Zárate, contribuyendo a la generación de información útil para su monitoreo, conservación y gestión ambiental.

10.2. Bases teóricas

a. Cobertura vegetal

Conjunto de vegetación natural que recubre la superficie terrestre, abarcando diversos tipos de biomasa con características topográficas y ambientales variadas, que van desde pastizales hasta bosques naturales. Asimismo, comprende la cobertura vegetal de origen antrópico, producto de actividades humanas como los cultivos agrícolas (Ministerio del Ambiente, 2015). La cobertura vegetal constituye un indicador importante del estado y dinámica de los ecosistemas, ya que sus variaciones pueden reflejar cambios ambientales, procesos de degradación y alteraciones en la vegetación, siendo ampliamente evaluada mediante técnicas de teledetección e índices de vegetación como el NDVI (Yan et. al, 2025).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

b. Tipos de coberturas vegetales

La cobertura vegetal del Bosque de Zárate se enmarca, según la tipología nacional, en dos formaciones principales: el matorral arbustivo andino y el bosque relicto mesoandino (MINAM, 2015). El matorral arbustivo se distribuye principalmente entre los 1 850 y 2 900 m s. n. m., caracterizándose por comunidades arbustivas adaptadas a condiciones subhúmedas y semiáridas, donde predominan especies como *Carica candicans*, *Jatropha macrantha*, *Croton ruizianus* y *Barnadesia blakeana* (Calero, 2018, MINAM, 2015). Asimismo, esta formación vuelve a presentarse en sectores de mayor altitud, aproximadamente entre los 3 250 y 3 600 m s. n. m., donde se registran especies arbustivas como *Baccharis latifolia* y *Hesperomeles cuneata*, asociadas a condiciones más frías y expuestas (Calero, 2018). En contraste, el bosque relicto mesoandino se desarrolla entre los 2 900 y 3 600 m s. n. m., con formaciones más densas y presencia de especies arbóreas como *Myrcianthes quinqueloba*, *Oreopanax oroyanus*, *Escallonia resinosa* y *Prunus rigida*, asociadas a mayor humedad y continuidad del dosel (Calero, 2018, MINAM, 2015). En áreas más abiertas se observa *Stipa ichu*, vinculada a condiciones más frías y expuestas (Calero, 2018). Esta organización altitudinal refleja un gradiente ecológico continuo donde la estructura y composición vegetal cambian progresivamente según la altitud, la pendiente y la disponibilidad hídrica (MINAM, 2015).

c. Bosque Nublado seco de la vertiente occidental

Desde una perspectiva ecológica y biogeográfica, el Bosque de Zárate constituye un bosque nublado seco de la vertiente occidental de los Andes (Resolución Ministerial N.° 195-2010-MINAM), una formación boscosa singular de la ecorregión Serranía Esteparia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

que se desarrolla principalmente entre los 2500 y 3200 m s.n.m. en las laderas occidentales andinas del Perú (Brack y Mendiola, 2004; Valencia, 1992). A diferencia de los bosques montanos húmedos de la vertiente oriental, estos bosques se establecen en un contexto regionalmente seco y fragmentado, donde la humedad proviene en gran medida de la frecuente presencia de neblinas durante la estación húmeda, generando condiciones favorables para el desarrollo de una vegetación perennifolia en medio de la matriz esteparia circundante (Koepcke, 1954b; Valencia, 1992). Suelen encontrarse en laderas escarpadas y de difícil acceso, donde conforman manchas boscosas aisladas que contrastan con la vegetación más seca de su entorno (Brack y Mendiola, 2004; Koepcke, 1954b). Esta distribución fragmentada, particularmente marcada en los Andes centrales, les confiere un alto interés biogeográfico, pues son considerados relictos de una cobertura boscosa más continua que existió bajo condiciones climáticas más húmedas en el pasado (Valencia, 1992). Asimismo, albergan elementos florísticos y faunísticos compartidos con los bosques montanos húmedos andinos, lo que evidencia su importancia como refugios de biodiversidad y como remanentes de antiguas conexiones biogeográficas entre ambas vertientes andinas (Koepcke, 1954a; Valencia, 1992).

d. Dinámica fenológica de la cobertura vegetal

La fenología de la vegetación se entiende como el estudio de las distintas fases del ciclo de vida de las plantas, como el crecimiento, la brotación, la senescencia y el reposo, las cuales están determinadas principalmente por las condiciones climáticas estacionales, especialmente la temperatura y la precipitación (Richardson et al., 2013). En ecosistemas con estacionalidad marcada, estas variaciones controlan la alternancia entre periodos de alta actividad vegetal, caracterizados por el rebrote y el incremento

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de la fotosíntesis durante las épocas húmedas, y fases de menor actividad, donde predomina la senescencia y la reducción de la cobertura foliar en épocas secas (Peñuelas et al., 2009). A escala global, se ha demostrado que la fenología responde de manera sensible a la variabilidad climática interanual e interdecadal, afectando la sincronización y duración de los ciclos de crecimiento y reposo de la vegetación (Menzel et al., 2006). En este contexto, el cambio climático modifica dichos patrones fenológicos y repercute en la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas terrestres, alterando sus niveles de productividad y estabilidad ecológica (IPCC, 2021).

e. Variabilidad climática

La variabilidad climática comprende las fluctuaciones naturales de variables como la temperatura y la precipitación respecto a sus promedios históricos, generadas por procesos atmosféricos y oceánicos de distinta escala temporal y espacial (Espinoza et al., 2020). En los Andes tropicales, estas variaciones pueden influir sobre la disponibilidad hídrica y la dinámica ecológica de los ecosistemas montanos y altoandinos (Pabón-Caicedo et al., 2020).

Uno de los principales mecanismos de variabilidad climática en Sudamérica es el fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), integrado por una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña), las cuales modifican los patrones regionales de precipitación y temperatura (Poveda et al., 2020; Espinoza et al., 2020). Diversos estudios señalan que estos eventos pueden generar sequías, lluvias intensas y cambios en la humedad ambiental, produciendo alteraciones en la productividad y distribución de la vegetación en ecosistemas andinos y bosques montanos (Segura et al., 2020; Urrego et al., 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

f. Evolución espacio-temporal

La evolución espacio temporal se apoya en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), estos sistemas permiten analizar el comportamiento espacial con el propósito de explicar y predecir patrones espaciales. Además, el enfoque temporal busca captar los cambios en la distribución espacial a lo largo del tiempo (Humacata, 2022). Las herramientas SIG y teledetección permiten desarrollar análisis espacio-temporales, como el estudio de la evolución espacial y temporal de un área protegida, así como la comprensión de las causas y los impactos de la variación de la cobertura vegetal en un período determinado (Fabian et al., 2024). Por lo cual, el análisis de la evolución de la degradación de la cobertura vegetal o del suelo constituye un aspecto de gran relevancia en los estudios ambientales, ya que implica la pérdida de hábitats, servicios, biodiversidad y capacidad productiva del ecosistema (Rengifo, 2024).

g. Área degradada

Es aquella en la que el suelo y la vegetación han sido afectados por la sobreexplotación de recursos madereros y no madereros, una gestión inadecuada, incendios recurrentes, pastoreo u otras perturbaciones vinculadas al uso del territorio, lo que provoca la inhibición o el retraso de los procesos de regeneración natural tras el abandono (Resolución de Dirección Ejecutiva N°083, 2018). En estudios de teledetección, las áreas degradadas pueden identificarse mediante tendencias negativas de índices de vegetación, las cuales reflejan pérdida progresiva de cobertura vegetal y deterioro ecológico (Siddhartho & Mahmood, 2025). En este contexto, el análisis temporal del NDVI mediante el método Mann-Kendall permite detectar áreas con disminución

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

significativa de vegetación asociadas a procesos de degradación (Franquesa et al., 2025; Lu et al., 2025).

h. Tala ilegal

La tala ilegal se define como la extracción, transporte, procesamiento o comercialización de productos forestales maderables y no maderables en contravención de la normativa forestal vigente, incluyendo actividades realizadas sin autorización, fuera de áreas permitidas o excediendo los volúmenes establecidos (FAO, 2020; World Bank, 2019). Este fenómeno constituye una de las principales causas de degradación y pérdida de bosques a nivel global, afectando la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la integridad de los ecosistemas forestales (Hoare, 2015). Además de las dinámicas asociadas a cadenas de valor comerciales, la tala ilegal también puede responder a usos locales de subsistencia, como la extracción de leña y la producción de carbón vegetal, prácticas que pueden contribuir a la reducción progresiva de la cobertura forestal sin requerir necesariamente procesos formales de comercialización (FAO, 2020). En este contexto, estas actividades pueden desarrollarse en áreas de alta sensibilidad ecológica, como zonas protegidas, áreas de pendiente o fuera de concesiones autorizadas, generando fragmentación del hábitat y degradación del bosque (Casson & Obidzinski, 2002; Hoare, 2015).

i. Sobrepastoreo

El sobrepastoreo se produce cuando la intensidad del pastoreo excede la capacidad de recuperación natural de la vegetación y del suelo, generando procesos de degradación ecológica en los ecosistemas (Contreras-Hinojosa et al., 2003). Entre sus principales efectos se encuentran la disminución de la cobertura vegetal, la afectación de la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

regeneración natural de las especies y el deterioro de las propiedades físicas del suelo, debido a la compactación, reducción de la infiltración hídrica y aumento de los procesos erosivos (Ibáñez, 2007; Teague & Kreuter, 2020). En ecosistemas forestales y montañosos, la presión generada por el pastoreo caprino puede limitar el establecimiento de brotes y plántulas, alterando la composición y diversidad vegetal del ecosistema (Papanastasis, 1993; FAO, 2020). Asimismo, la persistencia de esta actividad puede disminuir la capacidad de los ecosistemas para conservar sus funciones ecológicas y servicios ambientales, particularmente en áreas ecológicamente sensibles (Teague & Kreuter, 2020; FAO, 2020).

j. Restauración ecológica

Es un proceso de intervención para restaurar ecosistemas degradados, dañados o destruidos, con el propósito de identificar áreas de hábitats a restaurar para maximizar la conectividad y la función del ecosistema (Fernández de Gatta Sánchez, 2018). La restauración ecológica constituye una estrategia ampliamente utilizada para contrarrestar los efectos de la degradación ambiental y favorece la recuperación de los ecosistemas afectados (Niu et al., 2025).

k. Área prioritaria de restauración

Una etapa crucial en el proceso de restauración es la identificación de áreas prioritarias para la intervención, ya que la escasez de recursos económicos obliga a centrar los esfuerzos en los sitios que pueden generar los mayores beneficios (MINAGRI y SERFOR, 2019)[1]. Un área prioritaria de restauración es una zona estratégica cuya recuperación es fundamental para conservar la integridad ecológica y la funcionalidad del ecosistema (Li

[1] *El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) actualmente se denomina Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). Se mantiene la denominación original únicamente por corresponder a la fuente citada.*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

et al., 2025). Estas áreas incluyen ecosistemas naturales como bosques, humedales, corredores ecológicos y zonas degradadas donde la restauración puede maximizar la provisión de servicios ecosistémicos y reducir riesgos ambientales (Niu et al., 2025). Esta priorización no solo optimiza el uso de los recursos, sino que además potencia el impacto de los programas de restauración forestal (Zamorano, 2014). Para llevar a cabo esta identificación, se utilizan modelos de evaluación que analizan la salud de los ecosistemas y diversos factores de vulnerabilidad ecológica, asegurando una intervención más efectiva (Duan et al., 2024).

I. Índices de vegetación

Los índices de vegetación son herramientas de teledetección utilizadas para evaluar la cobertura y dinámica de la vegetación mediante información espectral derivada de imágenes satelitales (Yan et al., 2025). Entre los índices más utilizados destacan el NDVI, SAVI y EVI, debido a su capacidad para detectar cambios en la cobertura vegetal y procesos de degradación (Bhosle et al., 2025). El NDVI es ampliamente utilizado para evaluar el vigor de la vegetación, sin embargo, presenta limitaciones por saturación en zonas de alta biomasa y sensibilidad al suelo expuesto (Chrysostomou et al, 2026). El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) reduce la influencia del suelo desnudo en la respuesta espectral, mientras que el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) mejora la sensibilidad en áreas con vegetación densa y disminuye efectos atmosféricos (Nitu et al., 2025; Ogungbuyi et al., 2025).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

m. Regresión logística

Modelo estadístico orientado a predecir la ocurrencia de un evento con dos posibles estados (por ejemplo, vegetación vs no vegetación) a partir de variables predictoras continuas o categóricas (Martínez y Pérez, 2024). En teledetección, se aplica para relacionar valores de índices de vegetación (como NDVI) con la probabilidad de cobertura vegetal (Pérez-Rubio et al., 2021). Este enfoque permite generar modelos interpretables que estiman cómo cada índice contribuye a la presencia de vegetación, y luego evaluar su desempeño mediante métricas (Militino et al., 2024). Además, estudios recientes combinan múltiples índices (NDVI, SAVI, EVI) con regresión logística para mejorar la clasificación de la cobertura vegetal, lo que demuestra que este método es útil para seleccionar el índice más discriminante de forma cuantificable (Farhi et al., 2024; Almalki et al., 2022).

n. F1 Score

El F1-score es una métrica ampliamente empleada para evaluar modelos de clasificación en teledetección, dado que combina en un solo valor la precisión y la sensibilidad a través de su media armónica, lo que permite balancear la exactitud de las predicciones con la capacidad del modelo para identificar adecuadamente las clases (Luo et al., 2024). No obstante, en escenarios con clases desbalanceadas puede presentar limitaciones, por lo que algunos estudios recomiendan complementarlo con métricas como el Matthews Correlation Coefficient (MCC), debido a que este considera de manera más equilibrada los errores de clasificación (Chicco & Jurman, 2020). A pesar de ello, el F1-Score continúa siendo ampliamente empleado en clasificación binaria y estudios de teledetección debido a su capacidad para evaluar simultáneamente precisión y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sensibilidad (Saito & Rehmsmeier, 2015). Esta métrica es especialmente útil en contextos donde existe desequilibrio entre clases, condición frecuente en la clasificación de coberturas vegetales, pues penaliza simultáneamente los falsos positivos y los falsos negativos, ofreciendo una valoración más realista del desempeño del clasificador (Shi et al., 2024). En estudios de clasificación de uso y cobertura del suelo, el F1-score se emplea como indicador clave para validar la calidad de los resultados y garantizar que la identificación de categorías como vegetación y no vegetación mantenga un balance adecuado entre precisión y sensibilidad (Li et al., 2022).

o. Test de Mann-Kendall

El test de Mann-Kendall es un método no paramétrico aplicado para identificar tendencias significativas en series temporales ambientales, siendo robusto frente a valores atípicos y sin requerir distribución normal de los datos (Cui et al., 2025). El test de Mann–Kendall permite identificar tendencias en series temporales mediante el estadístico Tau de Kendall, que indica la dirección y magnitud del cambio, mientras que el valor p evalúa la significancia estadística de dicha tendencia, considerando generalmente $p < 0,05$ como indicativo de una tendencia significativa (Saxena, 2025). En estudios de teledetección, este test se utiliza para analizar la variación interanual de índices como NDVI, lo que permite detectar zonas con tendencias negativas persistentes que indican degradación o deforestación (Mamani & Batista, 2024) y, aplicado a nivel de píxel, revela espacialmente las áreas donde la vegetación ha disminuido de manera significativa a lo largo del tiempo (Bogale et al., 2025).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

XI. Objetivos

11.1. Objetivos Generales

- Evaluar el cambio y la degradación de la cobertura vegetal de la ZRBZ.
- Generar insumos técnicos y cartográficos para la identificación de áreas degradadas y prioritarias de restauración en la ZRBZ.

11.2. Objetivos Específicos

- Determinar el índice de vegetación óptimo para el análisis de la cobertura vegetal en la ZRBZ.
- Analizar la evolución espacio-temporal de la cobertura vegetal 2000 - 2023 en la ZRBZ.
- Identificar áreas degradadas en la ZRBZ.
- Determinar las áreas prioritarias de restauración en la ZRBZ.

XII. Metodología

12.1. Área de estudio

a. Ubicación y extensión

La ZRBZ se localiza en el distrito de San Bartolomé, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, entre los 13°42’–13°44’ S y 76°12’–76°13’ O, con una superficie aproximada de 545,75 ha (Resolución Ministerial N.° 195-2010-MINAM) (Fig. 1). El Bosque de Zárate es reconocido como uno de los relictos más importantes de bosque montano de la vertiente occidental andina del Perú, donde aproximadamente 100 ha corresponde a la cobertura boscosa (Samamé, 2005).

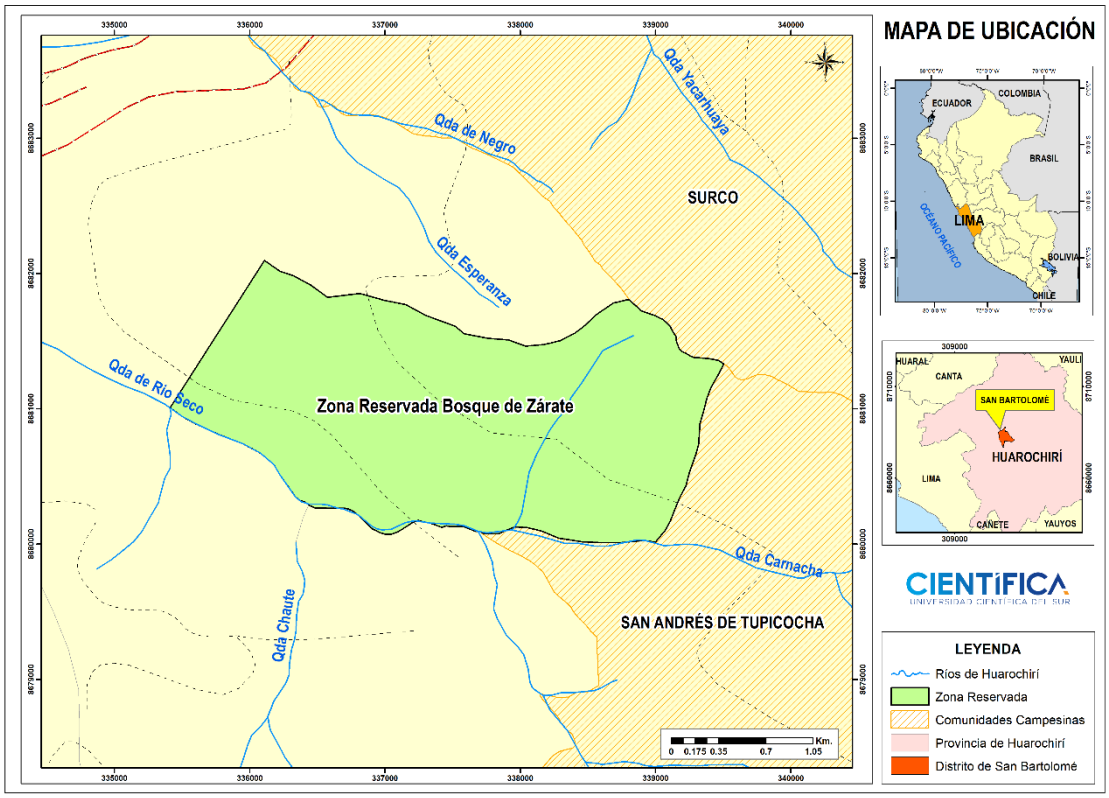
La ZRBZ forma parte del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE) bajo la categoría de Zona Reservada, figura de carácter transitorio aplicada a

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

áreas que requieren estudios complementarios para definir su categorización definitiva y lineamientos de manejo (D.S. N.° 038-2001-AG, Artículo 59). A diferencia de las Áreas Naturales Protegidas con categoría definitiva, cuyo principal instrumento de planificación es el Plan Maestro (Ley N.° 26834, Artículo 20), las Zonas Reservadas pueden manejarse mediante mecanismos provisionales de zonificación y gestión mientras se determina su condición final (D.S. N.° 038-2001-AG, Artículo 60). En este contexto, la generación de información técnica y espacial resulta relevante para fortalecer el conocimiento y la gestión futura del ecosistema.

Figura 1.

Mapa de ubicación del área de estudio



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

b. Gradiente altitudinal y relieve

El Bosque de Zárate presenta un marcado gradiente altitudinal, con un rango que oscila entre los 1 850 y los 3 600 m s. n. m. (Gobierno del Perú, 2019), lo que condiciona un relieve abrupto con laderas que superan el 50 % de pendiente e incluso sectores casi verticales (Arozena, 2015; Belli, 2018; Iannacone et al., 2000). El paisaje está modelado por quebradas laterales y depósitos coluviales asociados a sustratos volcánicos, con suelos generalmente poco profundos y ligeramente ácidos, presentando mayores contenidos de materia orgánica en áreas mejor conservadas (Belli, 2018; Pro Naturaleza, 2004).

El drenaje principal corresponde al río Rímac, que recibe aportes de la quebrada Carnacha o río Seco (Calero, 2018; Mires, 2016), donde varias quebradas de carácter estacional pueden generar flujos de detritos durante lluvias intensas (Arozena, 2015), mientras que en la cabecera se mantienen pequeñas fuentes que sostienen el caudal en época seca, siendo un recurso importante para las actividades locales (Calero, 2018; Pro Naturaleza, 2004).

c. Clima y estacionalidad

El Bosque de Zárate se ubica en la serranía esteparia, donde la altitud ejerce una fuerte influencia sobre las condiciones climáticas locales (Pro Naturaleza, 2004). La temperatura media anual es cercana a 12 °C y tiende a disminuir con la altitud, registrándose heladas por encima de los 3000–3200 m s. n. m. (Franke, 2015; Mires, 2016). Las precipitaciones anuales oscilan entre 300 y 350 mm, concentrándose principalmente entre noviembre y mayo, con máximos en los meses de febrero y marzo,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

mientras que la estación seca se extiende de junio a octubre (Franke, 2015; Pro Naturaleza, 2004).

Asimismo, la humedad relativa incrementa con la altitud debido a la interacción entre masas de aire amazónicas y corrientes del Pacífico, lo que contribuye a la formación de condiciones microclimáticas locales (Mires, 2016; Pro Naturaleza, 2004). De acuerdo con la clasificación de Thornthwaite adaptada por el SENAMHI, el área presenta una variación climática a lo largo del gradiente altitudinal, que va desde condiciones árido-templadas hasta semiseco-frías (SENAMHI, 2025), favoreciendo la presencia de microclimas influenciados por la orientación de laderas y la presencia de neblinas (Mires, 2016; Pro Naturaleza, 2004).

Los registros de la estación meteorológica de Matucana (SENAMHI, 2025) evidencian un patrón estacional bien definido, con precipitaciones concentradas en el periodo de verano (enero–marzo), alcanzando valores superiores a 100 mm en años como 2008 y 2023, mientras que entre mayo y setiembre las lluvias son prácticamente nulas. En este contexto, las temperaturas máximas fluctúan entre 19 °C y 24 °C, las mínimas entre 6 °C y 12 °C, y la temperatura media mensual se mantiene entre 14 °C y 17 °C, acompañada de una humedad relativa que supera el 80 % en temporada húmeda, llegando a más del 90 % en algunos años.

Esta marcada estacionalidad define dos periodos contrastantes: un verano lluvioso (noviembre–abril) y un invierno seco (mayo–octubre) (Calero, 2018; Pro Naturaleza, 2004). Durante los meses de abril a junio se observa el mayor verdor de la vegetación, correspondiente a la fase de rebrote, mientras que a partir de este periodo y hasta

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

octubre predominan temperaturas más elevadas durante el día y condiciones climáticas secas, propias de la fase de senescencia (Arozena, 2015; Mires, 2016).

d. Ecología del área de estudio

La ZRBZ se ubica en la ecorregión Andes Centrales (CDC-UNALM, 2006; SERNANP, 2025) y corresponde a la serranía esteparia según la clasificación de Brack Egg (Arozena, 2015), comprendiendo principalmente ecosistemas de bosque relicto mesoandino y matorral andino (Ministerio del Ambiente, 2015). La cobertura vegetal es más densa entre los 2800 y 3200 m s. n. m., donde predominan especies arbóreas y arbustivas como el calo (*Polylepis spp.*), calatillo (*Escallonia spp.*), chachacomo (*Escallonia myrtilloides*) y duraznillo (*Kageneckia lanceolata*) (Pro Naturaleza, 2004).

Asimismo, se registra la presencia de especies representativas del bosque montano como *Myrcianthes quinqueloba*, asociada a la estructura del dosel y a la estabilidad del ecosistema (Aquino et al., 2018). En sectores con mayor humedad se desarrollan comunidades epífitas como *Tillandsia spp., Neckera jamesonii* y *Usnea barbata*, las cuales se establecen principalmente sobre árboles maduros y en zonas con alta retención de humedad, contribuyendo a la heterogeneidad vertical y estructural de la vegetación (Jimenez-Carlos, 2024).

En conjunto, la vegetación del área presenta una distribución fuertemente influenciada por el gradiente altitudinal, la exposición de laderas y la disponibilidad hídrica estacional, lo que genera contrastes marcados en la densidad, continuidad del dosel y vigor de la cobertura vegetal dentro del paisaje (Jiménez-Carlos, 2024; Pro Naturaleza, 2004).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

e. Presiones antrópicas y variabilidad climática

El sobrepastoreo ha sido reconocido como una de las principales presiones sobre el Bosque desde los primeros registros, señalando que el ingreso no controlado de cabras afectaba directamente la regeneración vegetal, al consumir los brotes e impedir la reposición natural del bosque (Calero, 2018). Posteriormente, Mávila (2003) indicó que las comunidades aledañas dependían de la producción de leche y quesos, por lo que los comuneros de San Bartolomé permitían el alquiler de áreas del bosque para el pastoreo.

En el periodo 2003–2004, diversos estudios resaltaron la necesidad de conservación del ecosistema debido a la presión de actividades económicas locales (Mávila, 2003; Pro Naturaleza, 2004), señalando además que el uso de tierras comunales para ganadería caprina era una práctica consolidada en la zona (Pro Naturaleza, 2004). En este mismo periodo, también se registró la tala de especies nativas, principalmente para la extracción de leña de *Buddleia incana*, así como el uso histórico de *Myrcianthes quinqueloba* y *Escallonia resinosa* para la producción de carbón, evidenciando presión sobre la cobertura vegetal (Calero, 2018; Pro Naturaleza, 2004).

Entre 2005 y 2010, se reportó la presencia aproximada de 15 ganaderos por año en el área, aunque en las décadas de 1980 y mediados de 1990 esta actividad fue significativamente mayor, evidenciada por infraestructura aún presente en el bosque (Calero, 2018). A partir de la declaratoria de Zona Reservada en 2010, estas actividades han desaparecido en el ecosistema según reportes locales (Chávez, comunicación personal, 2025).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Asimismo, el ecosistema se encuentra influenciado por la variabilidad climática asociada al fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENOS), el cual modifica los patrones de precipitación, temperatura y disponibilidad hídrica en la región andina (IPCC, 2021; Vuille et al., 2018). Los eventos cálidos (El Niño) se asocian con incrementos de precipitación y mayor incidencia de procesos de escorrentía y erosión, mientras que los eventos fríos (La Niña) pueden intensificar condiciones de sequía y estrés hídrico en la vegetación (IPCC, 2021). En este sentido, Franke (2011) señala que estos eventos climáticos extremos forman parte de los principales factores que interactúan con las presiones antrópicas, condicionando la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas montanos.

12.2. Obtención de datos geográficos y elaboración de mapas temáticos

La data geográfica empleada en la investigación fue obtenida de servidores de instituciones gubernamentales, tales como: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Instituto Geográfico Nacional (IGN), GEOSERVIDOR del MINAM, Visor del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Los datos fueron descargados en formato shapefile y utilizados para la elaboración de mapas temáticos descriptivos de la ZRBZ, los cuales correspondieron al mapa de ubicación, topográfico, de comunidades campesinas, clasificación climática, ecosistemas, flora y fauna, de igual manera en la elaboración de mapas temáticos para

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

representar los resultados de la evaluación del cambio de la cobertura vegetal, áreas degradadas y de restauración en la ZRBZ. Para ello, se empleó información temática proveniente de distintas instituciones según el tipo de capa utilizada, tales como IGN e INEI para límites y base cartográfica, COFOPRI para comunidades campesinas, SENAMHI para clasificación climática, ANA para información hidrográfica y MINAM para ecosistemas, flora y fauna. Asimismo, se utilizó información de referencia del SERNANP para la delimitación de la ZRBZ. Los mapas fueron diseñados en el software ArcGIS 10.8.2. La información correspondiente a fuente, año y escala cartográfica se detalla en cada mapa temático presentado en anexos.

12.3. Visita de campo exploratoria

La visita exploratoria tuvo por finalidad conocer la zona de estudio y recopilar información histórica de la ZRBZ. Para ello, se realizaron dos visitas de campo: la primera consistió en una entrevista al vicepresidente de la Comunidad Campesina de San Bartolomé (Víctor Chávez) (véase Anexo 10), realizada el 21 de agosto de 2025; y la segunda correspondió a un recorrido de reconocimiento en la ZRBZ efectuado el 14 de septiembre de 2025. Dado el carácter exploratorio de esta etapa, se realizó una selección intencional del informante, priorizando a un actor con conocimiento directo y experiencia continua en la ZRBZ. La selección se realizó en coordinación con representantes del SERNANP, quienes identificaron a Víctor Chávez como una de las personas con mayor conocimiento histórico y territorial del área de estudio. La información recopilada permitió contextualizar las actividades humanas y cambios percibidos en la cobertura vegetal, los cuales fueron posteriormente contrastados con antecedentes bibliográficos y resultados obtenidos mediante el análisis geoespacial e

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

imágenes satelitales, encontrándose concordancia entre las diferentes fuentes de información. Si bien la información histórica se obtuvo a partir de un único informante clave, se reconoce que esta aproximación constituyó una limitación debido a la menor diversidad de perspectivas para interpretar los cambios históricos en la cobertura vegetal. En ese sentido, futuras investigaciones podrían incorporar múltiples fuentes orales para enriquecer la interpretación de los cambios históricos del área de estudio. Por otro lado, el recorrido de reconocimiento permitió verificar visualmente sectores representativos de la cobertura vegetal observada en la imagen satelital más reciente (2023), contribuyendo a la interpretación de la clasificación supervisada realizada. La entrevista se realizó previa firma de un consentimiento informado para la realización de la entrevista (véase Anexo 11), donde se le explicó que la información brindada sería utilizada para fines académicos.

12.4. Selección de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales permitieron identificar elementos y características de la superficie terrestre, así como evaluar la cobertura vegetal, gracias a sus resoluciones espaciales, espectrales y bandas disponibles (Olaya, 2014; Suárez et al., 2017). En particular, las imágenes Landsat, compuestas por siete u ocho bandas, son ampliamente utilizadas en estudios agrícolas, de cambio de suelo y monitoreo ambiental (León y Garavito, 2021; Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2024).

En esta investigación se emplearon imágenes Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI procesadas mediante la plataforma GEE, correspondientes al periodo 2000–2023. Si bien las bandas multiespectrales presentan una resolución espacial de 30 m, las imágenes fueron remuestreadas a 15 m utilizando la banda pancromática, a fin de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

homogeneizar y mejorar el detalle espacial. Se seleccionó el año 2000 como inicio del análisis por los altos ingresos de arriendos de pastos, indicador de pérdida de cobertura vegetal por sobrepastoreo y tala previa (Arozena, 2015), y 2023 como año final por la disponibilidad completa de imágenes. Las imágenes se eligieron cada 4 años, siguiendo criterios de estudios de pérdida de vegetación (De Alba-Rosano et al., 2020; Canul-Turriza et al., 2024; Yang et al., 2024; Xie y Niculescu, 2021).

12.5. Preprocesamiento de imágenes satelitales

Las imágenes Landsat pueden presentar errores por efecto del sensor, del sol, la atmósfera o la topografía, por lo que requieren correcciones previas al procesamiento según el tipo de sensor (Young et al., 2017). Las imágenes Landsat 7 se descargan geométricamente rectificadas y libres de distorsión por efecto del sensor (Huacani et al., 2022), mientras que Landsat 8 se obtiene corregida radiométrica y geométricamente (Lucana y Villalobos, 2018).

Las imágenes utilizadas corresponden a productos calibrados radiométricamente disponibles en GEE, por lo que no se aplicó una corrección atmosférica adicional. Asimismo, debido a las condiciones montañosas del área de estudio, se aplicó corrección topográfica a las bandas multiespectrales utilizando un Modelo Digital de Elevación SRTM y el método Sun-Canopy-Sensor + C (SCSc), con la finalidad de reducir las variaciones de reflectancia generadas por el relieve, las sombras topográficas y la orientación de las laderas (Lin et al., 2015). Adicionalmente, se realizó refinación pancromática fusionando la imagen pancromática con la multiespectral, obteniéndose una resolución espacial final de 15 m, con la finalidad de mejorar la resolución espacial sin perder características espectrales (EOS Data Analytics, 2024).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Las imágenes seleccionadas se preprocesaron mediante la plataforma GEE, realizando control de calidad a través de la selección previa de imágenes para definir la temporalidad de análisis, corrección topográfica y refinación pancromática (Xie et al., 2019). Desde GEE fue posible procesar series temporales para evaluar cambios en la cobertura vegetal, identificar áreas degradadas, mapear zonas inundables o realizar estudios de recursos hídricos (Lemesios y Petropoulos, 2024; Zaki et al., 2023; Liang et al., 2023). La plataforma permitió desarrollar algoritmos en JavaScript con conocimientos básicos de teledetección, accediendo a data pública de múltiples satélites como Landsat, Sentinel y MODIS, seleccionable por ubicación, temporalidad y calidad de las imágenes (Perez-Romero et al., 2024; Ghosh et al., 2022; Perilla y Mas, 2020). Asimismo, el preprocesamiento de las imágenes se realizó directamente sobre el ámbito de estudio definido en la plataforma GEE, sin requerir un recorte posterior de las imágenes.

12.6. Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de las imágenes satelitales involucra su manejo y análisis (Delrieux et al., 2001). En esta investigación, como parte del procesamiento se llevó a cabo la evaluación de la cobertura vegetal, a través del análisis de índices de vegetación, la clasificación supervisada de las imágenes satelitales utilizando el algoritmo Random Forest. Para la clasificación supervisada se emplearon las clases “Vegetación” y “No Vegetación”. La validación se realizó mediante interpretación visual preliminar, análisis temporal de imágenes satelitales y verificación en campo para la imagen correspondiente al año 2023, así como la determinación de áreas degradadas prioritarias de restaurar en la ZRBZ.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

a. Evaluación de la cobertura vegetal

La evaluación del cambio de la cobertura vegetal se realizó a través del cálculo de índices de vegetación tales como el NDVI, índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) e índice de vegetación mejorado (EVI), los cuales combinan bandas de la imagen satelital para evaluar sus respuestas espectrales y ofrecer información sobre el desarrollo de la vegetación (Sánchez et al., 2000). Se utilizaron los programas de acceso libre Python 3.12 y Visual Studio Code (VSCode) para determinar el índice óptimo en la evaluación de la cobertura, empleando métricas basadas en criterios cuantificables, como el F1 Score, que permite identificar el índice más adecuado. Estas métricas fueron aplicadas y comparadas en imágenes de la fase de senescencia y de rebrote durante el periodo 2000-2023.

El NDVI permite identificar la presencia y el estado de la cobertura vegetal, de manera que la obtención de valores cercanos a +1 indican vegetación abundante, por el contrario, valores cercanos al -1, indican escasez o nula cubierta vegetal (Campos et al., 2018). Se realizó el cálculo del NDVI de las imágenes seleccionadas, a través de la plataforma GEE, introduciendo en la codificación, las expresiones para Landsat 7 ETM+ (ecuación 1) y Landsat 8 OLI (ecuación 2):

$$NDVI\ \ L7 = \frac{(Band\ 4 - Band\ 3)}{(Band\ 4 + Band\ 3)} \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: Band 3: Rojo visible, Band 4: Infrarrojo cercano.

$$NDVI\ L8 = \frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + Band\ 4)} \qquad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde: Band 4: Rojo visible, Band 5: Infrarrojo cercano.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Por su parte el SAVI nace de la modificación del NDVI (Tarcetano, 2023); sin embargo, este permite disminuir el efecto de la reflectancia del suelo, aislando las reflectancias específicas en casos donde los pixeles contienen una mezcla de vegetación y suelo, el índice L de la ecuación para este cálculo, corresponde a la cobertura vegetal, la cual puede tener valores entre 0 y 1, siendo L=1, escasa densidad vegetal, L=0.5, densidad intermedia y L=0.25 densidad alta (Ceceña-Sánchez et al., 2021). Se realizó el cálculo del SAVI de las imágenes seleccionadas, a través de la plataforma GEE, introduciendo en la codificación, las expresiones para Landsat 7 ETM+ (ecuación 3) y Landsat 8 OLI (ecuación 4):

$$SAVI\ L7 = \frac{(Band\ 4 - Band\ 3)}{(Band\ 4 + Band\ 3 + L)} * (1 + L) \qquad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde: Band 4: Reflectancia del infrarrojo cercano, Band 3: Reflectancia del rojo cercano, L: Cobertura vegetal.

$$SAVI\ L8 = \frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + Band\ 4 + L)} * (1 + L) \qquad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde: Band 5: Reflectancia del infrarrojo cercano, Band 4: Reflectancia del rojo cercano, L: Cobertura vegetal.

Del mismo modo, el EVI es utilizado para el estudio de la vegetación permitiendo cuantificar el verdor de la vegetación dentro de un pixel de una imagen satelital (Horna-Duran, 2022). A diferencia del NDVI, este índice presenta mayor sensibilidad en áreas con vegetación densa y reduce efectos atmosféricos (Nitu et al., 2025; Ogungbuyi et al., 2025). Sus valores oscilan entre -1 y +1, siendo los valores positivos relacionados a la presencia de vegetación, mientras el valor sea mayor la vegetación será más abundante (Borja, 2020). Se realizó el cálculo del EVI de las imágenes satelitales, a través de la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

plataforma GEE, introduciendo las expresiones para Landsat 7 ETM+ (ecuación 5) y Landsat 8 OLI (ecuación 6) en la codificación. Los valores adoptados en el algoritmo son: L=1, C1=6, C2=7.5 y G=2.5.

$$EVI\ L7 = G * \frac{(Band\ 4 - Band\ 3)}{(Band\ 4 + C_1 * Band\ 3 - C_2 * Band1 + L)} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde: G: Factor de ganancia o escala, Band 4: Reflectancia del infrarrojo cercano, Band 3: Reflectancia del rojo cercano, C: Coeficientes de resistencia atmosférica, L: Ajuste del fondo del dosel.

$$EVI\ L8 = G * \frac{(Band\ 5 - Band\ 4)}{(Band\ 5 + C_1 * Band\ 4 - C_2 * Band2 + L)} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Donde: G: Factor de ganancia o escala, Band 4: Reflectancia del infrarrojo cercano, Band 3: Reflectancia del rojo cercano, C: Coeficientes de resistencia atmosférica, L: Ajuste del fondo del dosel.

b. Clasificación supervisada de imágenes satelitales

Se aplicó la clasificación supervisada, que identifica superficies espectrales similares a partir de clases conocidas (Willington et al., 2013), procesando en GEE 14 imágenes correspondientes a las fases de rebrote y senescencia del periodo 2000–2023, las cuales correspondieron a un subconjunto seleccionado de las 47 imágenes Landsat procesadas previamente.

La validación de la clasificación supervisada se realizó mediante un enfoque integrado de interpretación en gabinete y verificación en campo, basado en los principios de la validación temática en teledetección, donde la exactitud se evalúa mediante la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

comparación entre datos clasificados y observaciones de referencia (Chuvieco, 1996; Congalton & Green, 2019). Si bien este marco teórico se origina en enfoques clásicos, su vigencia metodológica está respaldada por estándares actuales de evaluación de exactitud, los cuales mantienen el muestreo probabilístico y la validación basada en puntos de control como procedimientos fundamentales en la generación de cartografía de cobertura terrestre (Olofsson et al., 2014; Stehman, 2014). En este sentido, la literatura reciente confirma que los principios establecidos por Chuvieco (1996) continúan siendo válidos en tanto constituyen la base conceptual de los protocolos modernos de validación, los cuales no reemplazan dichos fundamentos, sino que los complementan con herramientas estadísticas más robustas y criterios de representatividad espacial (Congalton & Green, 2019; Olofsson et al., 2014).

Los puntos de validación fueron definidos mediante muestreo aleatorio simple, en concordancia con las recomendaciones internacionales que establecen la necesidad de muestras probabilísticas para asegurar precisión y confiabilidad en la estimación de exactitud temática (Olofsson et al., 2014). Asimismo, la validación en campo aplicada a la imagen más reciente (2023) y el uso de interpretación visual y análisis multitemporal para imágenes históricas (2000) se alinean con prácticas aceptadas en estudios de cambio de cobertura, donde se reconoce la combinación de datos de campo, sensores remotos y consistencia temporal como un enfoque metodológico robusto (Stehman, 2014). De este modo, la metodología de Chuvieco (1996) no se emplea de manera aislada ni desactualizada, sino como base conceptual integrada dentro de un marco metodológico contemporáneo ampliamente validado para análisis de cobertura terrestre y teledetección aplicada.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

c. Identificación de áreas degradadas

Las áreas degradadas se evaluaron mediante el método estadístico Mann-Kendall aplicado a la serie temporal del NDVI (2000–2023), permitiendo identificar tendencias significativas en la vegetación y alteraciones de la cobertura vegetal (Alatorre et al., 2020). Esta metodología ha sido utilizada previamente para detectar cambios en la vegetación asociados a variaciones ambientales y degradación del suelo (Baniya et al., 2018; Ontel et al., 2023). Se calculó el coeficiente Tau de Mann-Kendall, que indica la dirección y magnitud de la tendencia (-1 a +1), y el valor de significancia (p), considerando $p < 0.05$ como indicativo de una tendencia significativa (Saxena, 2025). Para la identificación de áreas degradadas se consideraron aquellas zonas con tendencias negativas persistentes del NDVI ($Tau < 0$), interpretándose como áreas con disminución progresiva del vigor y/o la cobertura de la vegetación asociadas a procesos de degradación (Mamani & Batista, 2024; Bogale et al., 2025). El análisis se realizó en Python 3.12 y VSCode para las fases de rebrote y senescencia de cada año, identificando posteriormente las áreas prioritarias para restauración. Cabe precisar que, en el presente estudio, la degradación se interpreta desde una perspectiva biofísica de la cobertura vegetal, utilizando tendencias negativas persistentes del NDVI como indicador indirecto de disminución del vigor y la cobertura de la vegetación. En consecuencia, los resultados permiten identificar áreas con señales de degradación asociadas a cambios en la vegetación, pero no constituyen una evaluación integral de la degradación ecosistémica, la cual puede involucrar alteraciones en la biodiversidad, funciones ecológicas y servicios ecosistémicos (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services [IPBES], 2018).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

d. Determinación de áreas prioritarias de restauración

La identificación de áreas prioritarias de restauración se realizó mediante un análisis multicriterio (Tabla 1), integrando los pesos (0-5) de cada variable en ArcGIS con la herramienta Weighted Overlay. Esta técnica permitió estandarizar y ponderar las capas temáticas, combinándolas en un único resultado espacial. Así, se integraron variables como cobertura del suelo, proximidad a cuerpos de agua, accesibilidad, pendiente y erosividad, generando un raster que representa el nivel de prioridad de restauración en el área de estudio (Bakolo et al., 2024; Romero y Espinosa, 2022; Shen et al., 2024; Zabaleta et al., 2024).

Tabla 1.

Matriz de criterios, categorías, clases y valores de ponderación

Categoría	Valor	Clases	Sustento bibliográfico y juicio experto
Criterio 1: Cobertura vegetal			
Áreas intervenidas /degradadas	5	Cobertura antrópica o degradada	Se asignó la máxima ponderación debido a que representan zonas con mayor necesidad de intervención para recuperar la estructura, funcionalidad y resiliencia del ecosistema (Noss et al., 2009).
Criterio 2: Proximidad a cuerpos de agua			

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Muy alta proximidad	5	0–100 m	Corresponde a las zonas con mayor interacción entre la vegetación y el sistema hídrico, donde la disponibilidad de humedad favorece el mantenimiento de procesos ecológicos y la recuperación de la cobertura vegetal (Naiman et al., 2005; Dwire & Kauffman, 2003).
Alta proximidad	4	100–300 m	Conservan una influencia significativa de los procesos asociados a los cursos de agua y pueden contribuir al mantenimiento de la funcionalidad ecológica del paisaje (Naiman et al., 2005)
Media proximidad	3	300–500 m	Su relación con el sistema hídrico es menos directa, aunque todavía pueden beneficiarse de procesos ecológicos vinculados a la conectividad y dinámica del ecosistema (Dwire & Kauffman, 2003).
Baja proximidad	1	>500 m	Presentan una influencia reducida de los procesos asociados a los cuerpos de agua, por lo que su contribución a la regulación hídrica y a las funciones ecológicas ribereñas es

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

			comparativamente menor (Naiman et al., 2005).
Criterio 3: Pendiente			
Pendiente muy fuerte o muy escarpada	5	>45°	Las pendientes muy pronunciadas presentan mayor susceptibilidad a erosión, pérdida de suelo e inestabilidad superficial, por lo que su conservación y restauración resultan prioritarias para mantener la funcionalidad ecológica del ecosistema (Lamb et al., 2005; Morgan, 2005; Clewell & Aronson, 2013).
Pendiente fuerte	4	30–45°	Corresponden a áreas con elevada vulnerabilidad a procesos erosivos, aunque en menor grado que las pendientes más extremas, manteniendo una alta prioridad para acciones de restauración (Lamb et al., 2005).
Pendiente moderada	3	15–30°	Presentan susceptibilidad moderada a la degradación y pueden contribuir a la conectividad y recuperación progresiva

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

			de la cobertura vegetal (Clewell & Aronson, 2013).
Pendiente suave	1	<15°	Las pendientes suaves presentan menor riesgo de erosión y una menor vulnerabilidad geomorfológica relativa, por lo que reciben una prioridad comparativamente menor dentro del análisis (Lamb et al., 2005; Toy et al., 2002).
Criterio 4: Erosividad			
Muy alta	5	Las zonas con alta erosividad requieren prioridad de restauración debido a su elevada susceptibilidad a pérdida de suelo, degradación ecosistémica y afectación de la cobertura vegetal.	Se asigna el valor máximo debido a que las precipitaciones de alta intensidad generan mayor energía cinética, incrementando el desprendimiento y transporte de partículas del suelo y, por tanto, la susceptibilidad a la erosión hídrica (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997).
Alta	4	Alta probabilidad de erosión hídrica y deterioro de cobertura vegetal.	Corresponde a eventos de lluvia con energía suficiente para generar erosión laminar y en surcos, aunque con menor intensidad que las condiciones extremas, manteniendo un riesgo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

			erosivo elevado (Morgan, 2005; Wischmeier & Smith, 1978).
Media	3	Riesgo intermedio de degradación y pérdida de suelo.	Presenta condiciones intermedias donde la erosión depende principalmente del estado de la cobertura del suelo, reduciéndose el impacto de la lluvia por la protección vegetal (Morgan, 2005; Toy et al., 2002).
Baja	1	Menor vulnerabilidad a pérdida de suelo y degradación ecosistémica.	Se asigna el menor valor debido a la baja energía de precipitación, la cual limita significativamente la capacidad de desprendimiento y transporte de sedimentos (Wischmeier & Smith, 1978; Renard et al., 1997).
Criterio 5: Accesibilidad			
Alta accesibilidad	5	0 – 100 m	Áreas con mayor accesibilidad presentan mayor intervención humana, lo que incrementa la fragmentación y degradación del ecosistema, por lo que requieren mayor prioridad de restauración (Forman, 1995; Turner, 1989).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Media accesibilidad	3	100 – 300 m	Zonas con accesibilidad intermedia presentan presión antrópica moderada y estados de transición entre conservación y degradación, por lo que su prioridad de restauración es media (Hobbs & Harris, 2001).
Baja accesibilidad	1	>300m	Las áreas menos accesibles tienen menor intervención humana, menor fragmentación y mejor estado de conservación relativo, por lo que presentan menor prioridad de restauración (Forman, 1995; McGarigal & Cushman, 2002).

12.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los índices NDVI, SAVI y EVI se realizó en Python utilizando VSCode como entorno de desarrollo (Valle, 2022). Para evaluar el desempeño de cada índice en la discriminación de la cobertura vegetal, se aplicó un modelo de regresión logística binaria, considerando como variable predictora los valores ráster de cada índice y como variable de referencia la clasificación temática de cobertura vegetal y no vegetal obtenida previamente. Este procedimiento permitió estimar la capacidad de cada índice para diferenciar áreas con presencia y ausencia de cobertura vegetal. Los datos fueron divididos en conjuntos de entrenamiento y prueba, evaluándose el desempeño mediante métricas de exactitud global, precisión, sensibilidad y F1-Score. Estas métricas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

permitieron comparar el rendimiento de los índices y seleccionar el de mejor desempeño para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal.

Mientras que el índice estadístico de la clasificación supervisada se realizó utilizando el índice Kappa (k) en GEE, que mide la precisión de la clasificación con relación a lo observado en campo y la clasificación obtenida en gabinete, a través de la ecuación 7 (Chuvieco, 1996):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^{r} X_{ii} - N \sum_{i=1}^{r} (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} (X_{i+} X_{+i})} \qquad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde: X_{ii} representa el acuerdo observado, X_{i+}, X_{+i} representa el acuerdo esperado.

XIII. Resultados

13.1. Selección de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes satelitales representativas de la fase de rebrote vegetativo (abril–junio), correspondientes a los meses de mayo y junio, así como imágenes de la fase de senescencia (julio–octubre), adquiridas durante los meses de agosto y septiembre. (Franke, 2015; Pro Naturaleza, 2004; Mires, 2016). Solo se consideraron imágenes con menos de 20 % de nubosidad (Esteban y Moran, 2022), y se procesó un total de 47 imágenes con la finalidad de mantener la continuidad temporal del análisis del NDVI durante el periodo 2000-2023, siendo este conjunto necesario para la aplicación del método Mann-Kendall y la detección de tendencias significativas. Para la clasificación supervisada y el análisis multitemporal, se seleccionó un subconjunto de 14 imágenes (Tabla 2) correspondientes a siete años representativos y dos fases estacionales. Landsat 7 ETM+ dispone de imágenes desde 1999 y Landsat 8 OLI desde 2013 (Young et al.,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2017), eligiéndose aquellas con mayor calidad y resolución según los criterios espaciales y temporales establecidos.

Tabla 2.

Imágenes satelitales seleccionadas

Fase de senescencia			Fase de rebrote		
Fecha	**ID**	**Sensor**	**Fecha**	**ID**	**Sensor**
7/08/2000	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20000807	LE07	4/06/2000	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20000604	LE07
19/09/2004	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20040919	LE07	14/05/2004	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20040514	LE07
13/08/2008	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20080813	LE07	26/06/2008	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20080626	LE07
8/08/2012	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20120808	LE07	21/06/2012	LANDSAT/LE07/C02/T1_TOA/LE07_007068_20120621	LE07
27/08/2016	LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_007068_20160827	LC08	24/06/2016	LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_007068_20160624	LC08
6/08/2020	LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_007068_20200806	LC08	3/06/2020	LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_007068_20200603	LC08
15/08/2023	LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_007068_20230815	LC08	12/06/2023	LANDSAT/LC08/C02/T1_TOA/LC08_007068_20230612	LC08

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

13.2. Índice de vegetación

a. Análisis comparativo de índices de vegetación

Se analizaron los índices de vegetación NDVI, SAVI y EVI, con el propósito de identificar el más eficiente para el monitoreo del dosel vegetal en la ZRBZ. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3 y permitieron evaluar el desempeño de cada índice en la discriminación de la cobertura vegetal mediante métricas de evaluación.

Tabla 3.

Métricas de evaluación de índices de vegetación 2000-2023

Año	Fase	Índice	Precisión	Sensibilidad	F1 Score
2000	Senescencia	NDVI	0.745268	0.481795	0.483626
		SAVI	0.588697	0.33701	0.299816
		EVI	0.606814	0.333333	0.251767
	Rebrote	NDVI	0.714813	0.477534	0.471351
		SAVI	0.6085	0.333333	0.252202
		EVI	0.617108	0.372897	0.361889
2004	Senescencia	NDVI	0.870285	0.457806	0.468718
		SAVI	0.860297	0.333333	0.308301
		EVI	0.860297	0.333333	0.308301
	Rebrote	NDVI	0.786685	0.529499	0.525061
		SAVI	0.613995	0.382596	0.369509
		EVI	0.579348	0.333333	0.244552
2008	Senescencia	NDVI	0.811596	0.527003	0.528544
		SAVI	0.702798	0.445308	0.44503
		EVI	0.68739	0.433511	0.43304
	Rebrote	NDVI	0.811107	0.522343	0.516056
		SAVI	0.708958	0.236319	0.276565
		EVI	0.708958	0.333333	0.276565
2012	Senescencia	NDVI	0.851392	0.524176	0.529203
		SAVI	0.78749	0.41152	0.421169

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

2016	Rebrote	EVI	0.76074	0.333333	0.288038
		NDVI	0.853283	0.446928	0.464031
		SAVI	0.817347	0.333333	0.299831
		EVI	0.817347	0.333333	0.299831
	Senescencia	NDVI	0.830046	0.50293	0.501326
		SAVI	0.801	0.412102	0.422914
		EVI	0.806133	0.418226	0.430518
	Rebrote	NDVI	0.719535	0.479164	0.47747
		SAVI	0.562956	0.333333	0.240124
		EVI	0.562956	0.333333	0.240124
2020	Senescencia	NDVI	0.774926	0.404254	0.411251
		SAVI	0.752364	0.333333	0.286228
		EVI	0.752364	0.333333	0.286228
	Rebrote	NDVI	0.838962	0.547	0.541766
		SAVI	0.826263	0.539386	0.533548
		EVI	0.831127	0.54352	0.537499
2023	Senescencia	NDVI	0.797217	0.415046	0.426374
		SAVI	0.769522	0.333333	0.289917
		EVI	0.769522	0.333333	0.289917
	Rebrote	NDVI	0.648744	0.350853	0.326323
		SAVI	0.67144	0.393317	0.391252
		EVI	0.661578	0.386138	0.383236

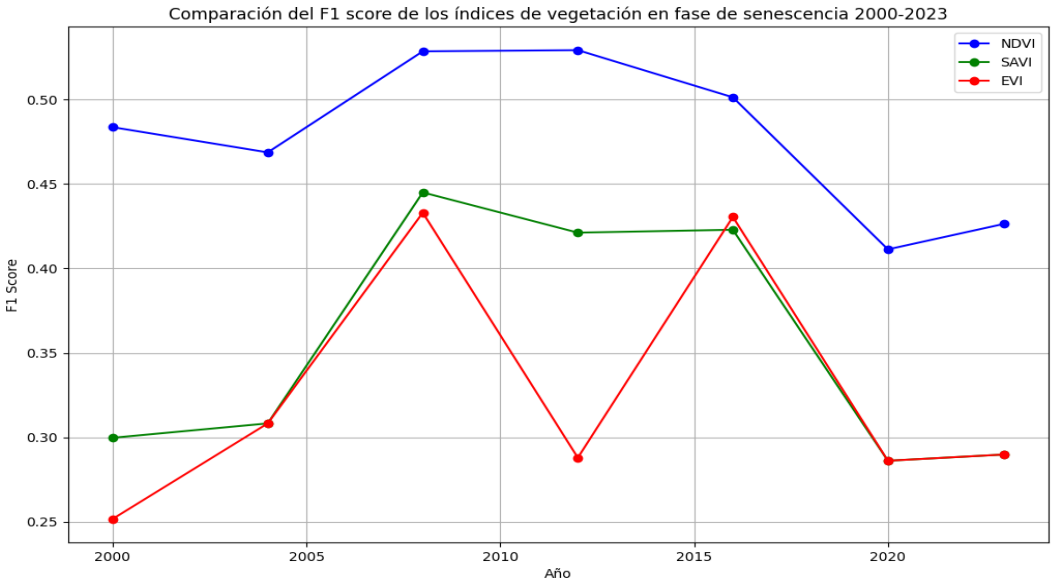
En el periodo 2000–2023 (Tabla 3), el NDVI presentó, en la mayoría de los periodos evaluados, valores superiores de precisión, sensibilidad y F1 score respecto a SAVI y EVI. Aunque en algunos casos específicos otros índices alcanzaron valores similares o ligeramente superiores, el NDVI mostró un comportamiento comparativamente más consistente para el análisis de la cobertura vegetal en la ZRBZ.

Las figuras 2 y 3 mostraron la variación temporal del F1 Score de los índices NDVI, SAVI y EVI durante las fases de senescencia y rebrote, respectivamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 2.

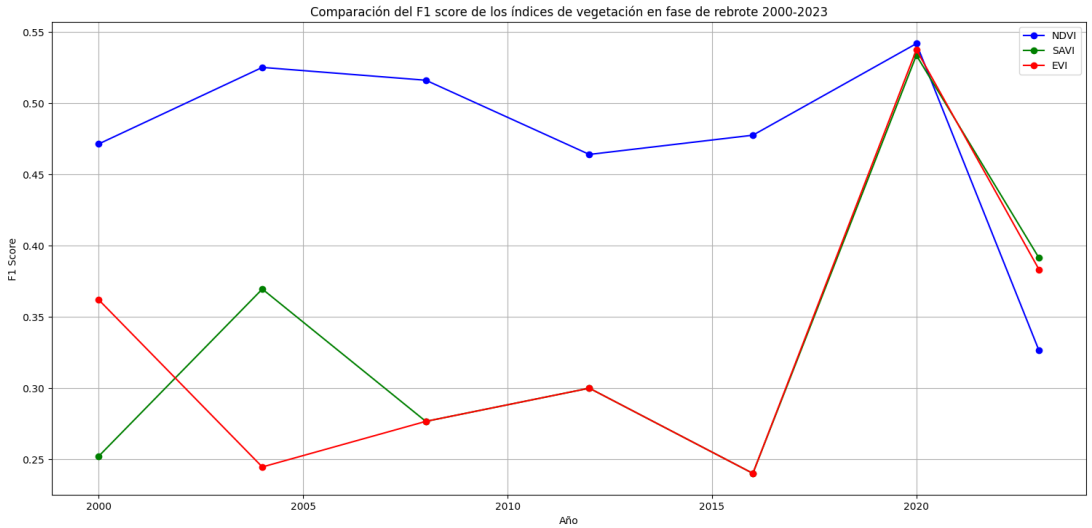
Comparación del F1 score de los índices de vegetación en fase de senescencia 2000-2023



En la Figura 2 se observó que el NDVI presentó, en general, los valores más altos de F1 Score durante la fase de senescencia, con valores entre 0.411 y 0.529. En contraste, SAVI y EVI mostraron menores niveles de desempeño y mayor variabilidad temporal.

Figura 3.

Comparación del F1 score de los índices de vegetación en fase de rebrote 2000-2023



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

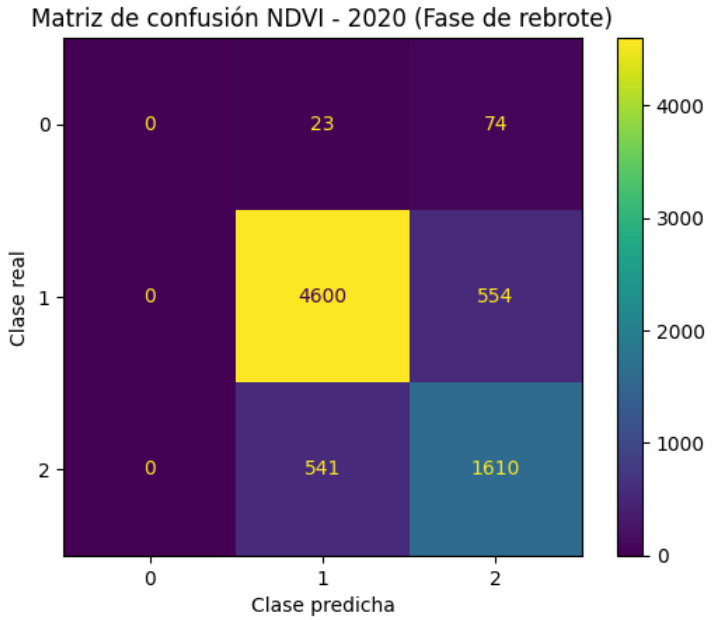
En la Figura 3 se observó que el NDVI presentó los mayores valores de F1 Score en la mayoría de los periodos evaluados durante la fase de rebrote, alcanzando valores entre 0.326 y 0.541. Sin embargo, en el año 2023 los índices SAVI y EVI registraron valores ligeramente superiores, aunque el NDVI mantuvo un comportamiento general más consistente durante el periodo analizado.

b. Matriz de confusión

Con la finalidad de complementar la evaluación de desempeño de los índices de vegetación, se presentaron matrices de confusión representativas correspondientes al índice NDVI en escenarios de mayor y menor desempeño relativo durante el periodo evaluado (Figuras 4 y 5).

Figura 4.

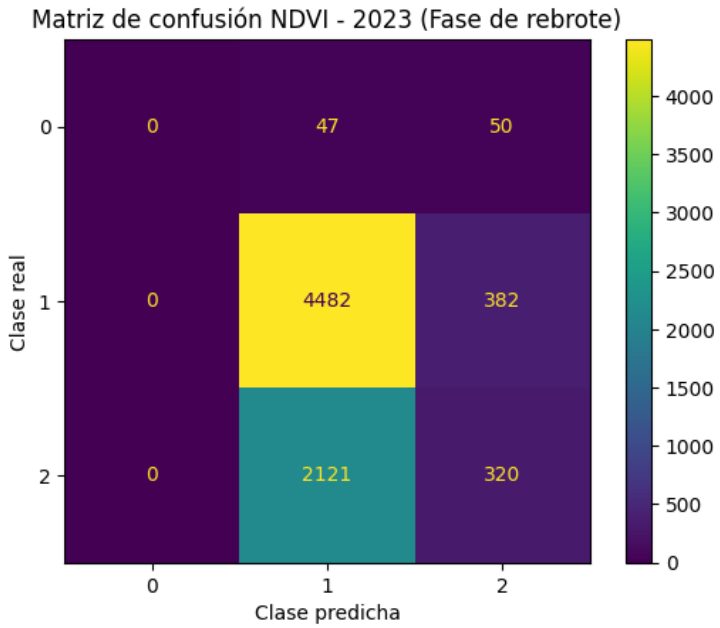
Matriz de confusión del NDVI - 2020 (Fase Rebrote)



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 5.

Matriz de confusión del NDVI - 2023 (Fase Rebrote)



Las matrices de confusión mostraron dificultades entre algunas categorías de cobertura vegetal, especialmente en clases con menor representatividad, evidenciando variaciones en el desempeño de clasificación durante el periodo evaluado

c. Consistencia temporal de los índices

Con la finalidad de evaluar la consistencia temporal de los índices analizados, se calcularon el promedio y la desviación estándar del F1 Score para los índices NDVI, SAVI y EVI durante el periodo 2000–2023 (Tabla 4).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 4.

Promedio y desviación estándar del F1 score de los índices de vegetación

Índice	Promedio F1 Score	Desviación estándar
NDVI	0.477	0.056
SAVI	0.345	0.083
EVI	0.331	0.084

d. Selección del índice óptimo

La selección del índice óptimo se basó en las métricas de precisión, sensibilidad y F1 Score obtenidas para los índices NDVI, SAVI y EVI durante el periodo 2020-2023. Asimismo, se evaluaron matrices de confusión representativas y medidas de dispersión asociadas al F1 Score, como el promedio y la desviación estándar, con la finalidad de analizar el comportamiento y consistencia de cada índice.

Si bien los valores de F1 Score obtenidos fueron moderados, estos resultados son consistentes con estudios de clasificación de cobertura vegetal, donde la variabilidad espectral y las similitudes entre categorías dificultan la separación precisa entre clases (Tyukavina et al., 2025). Asimismo, los valores similares observados en algunos periodos para SAVI y EVI pueden atribuirse a comportamientos espectrales semejantes frente a determinadas condiciones de cobertura vegetal (She et al., 2015). En este contexto, el uso del F1 Score es una métrica adecuada para escenarios con posibles desbalances entre clases, ya que permite evaluar conjuntamente la precisión y sensibilidad del modelo (Saito & Rehmsmeier, 2015).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Por lo tanto, el NDVI presentó mayor promedio de F1 Score (0.477) y la menor desviación estándar (0.056) respecto a SAVI y EVI, evidenciando un comportamiento comparativamente más consistente durante el periodo evaluado, por lo que, fue seleccionado como el índice más adecuado para evaluar la dinámica de la cobertura vegetal e identificar áreas degradadas en la ZRBZ.

13.3. Evolución espacio-temporal de la cobertura vegetal 2000-2023

a. Cambios en la cobertura vegetal

El análisis multitemporal del dosel vegetal en la Zona de Reserva (2000–2023) permitió cuantificar áreas con y sin cobertura, diferenciando las fases de senescencia y rebrote, evidenciando variaciones interanuales y estacionales (Tabla 5).

Tabla 5.

Áreas con cobertura vegetal y sin cobertura vegetal 2000-2023

Año	Fase	Cobertura vegetal (ha)	Sin cobertura vegetal (ha)
2000	Senescencia	201	354
2000	Rebrote	352	197
2004	Senescencia	73	482
2004	Rebrote	226	326
2008	Senescencia	189	365
2008	Rebrote	402	153
2012	Senescencia	124	430
2012	Rebrote	463	92
2016	Senescencia	111	444
2016	Rebrote	241	314
2020	Senescencia	126	429
2020	Rebrote	399	156
2023	Senescencia	120	435
2023	Rebrote	372	183

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

A lo largo del periodo 2000–2023, la cobertura vegetal fue consistentemente mayor durante la fase de rebrote en comparación con la fase de senescencia. Las áreas con vegetación variaron entre 73 ha (2004, senescencia) y 463 ha (2012, rebrote), con promedios de 351 ha y 135 ha, respectivamente, lo que evidencia una cobertura aproximadamente 2,6 veces superior en la fase de rebrote. En contraste, las áreas sin cobertura vegetal alcanzaron sus máximos durante la senescencia. Temporalmente, se observó un incremento moderado de la cobertura vegetal en la fase de rebrote (+5,7 %) y una disminución significativa en la fase de senescencia (−40,3 %). Los valores más altos de cobertura se registraron en los años 2008, 2012 y 2020, mientras que los más bajos correspondieron a 2004 y 2016. En conjunto, los resultados evidencian una marcada variabilidad espacio-temporal del dosel vegetal, manteniéndose la fase de rebrote como el periodo de mayor extensión de vegetación en la ZRBZ.

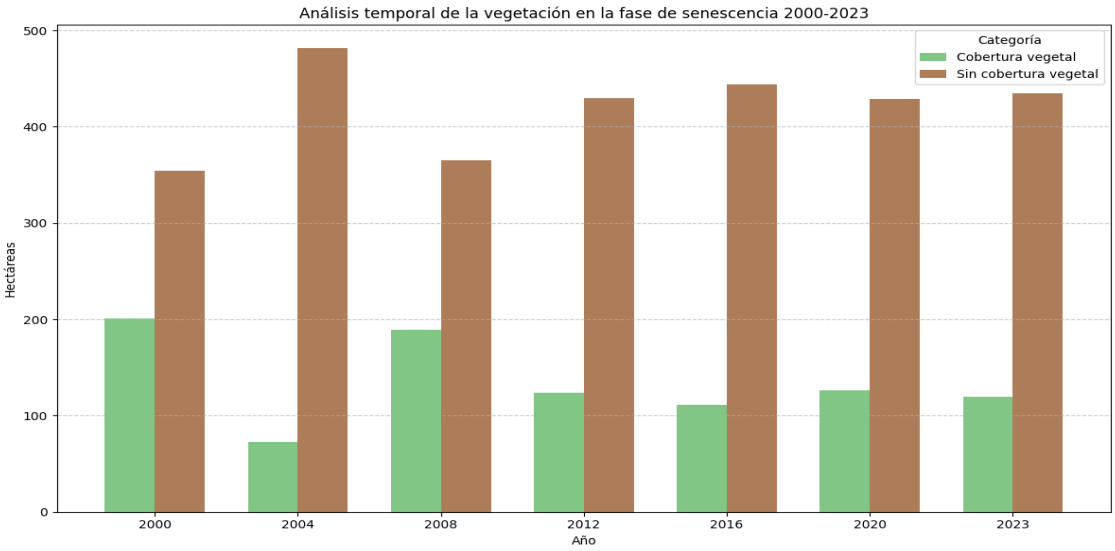
b. Cobertura vegetal en fase de senescencia

La Figura 6 refleja la variación de las áreas con y sin cobertura vegetal durante la fase de senescencia en el intervalo 2000–2023, complementándose con la información espacial detallada en las Figuras 7 y 8, donde se representan los cambios multitemporales del NDVI y la cobertura vegetal, respectivamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 6.

Análisis temporal de la vegetación en la fase de senescencia 2000-2023



Durante el año 2000, las áreas con cobertura vegetal alcanzaron 201 ha, mientras que las áreas sin cobertura vegetal representaron 354 ha. En 2004, la cobertura vegetal se redujo drásticamente a 73 ha, en contraste, las áreas sin estrato vegetal se expandieron a 482 ha, registrando en ambos casos los valores más extremos del periodo. En 2008, la superficie con vegetación aumentó nuevamente a 189 ha, con una reducción simultánea de las áreas no vegetadas a 365 ha.

En 2012, la cobertura vegetal en fase de senescencia alcanzó 124 ha, mientras que las áreas sin cobertura vegetal sumaron 430 ha, valores que marcan el inicio de un periodo con variaciones moderadas. Posteriormente, en 2016, la superficie con vegetación descendió a 111 ha, la cifra más baja del intervalo 2012–2023, paralelamente, se evidenció un aumento de la cobertura desnuda a 444 ha, el valor más alto del periodo reciente.

Para 2020, se observó una ligera recuperación de la cobertura vegetal, que se incrementó a 126 ha, acompañada de una reducción de las áreas sin cobertura a 429 ha,

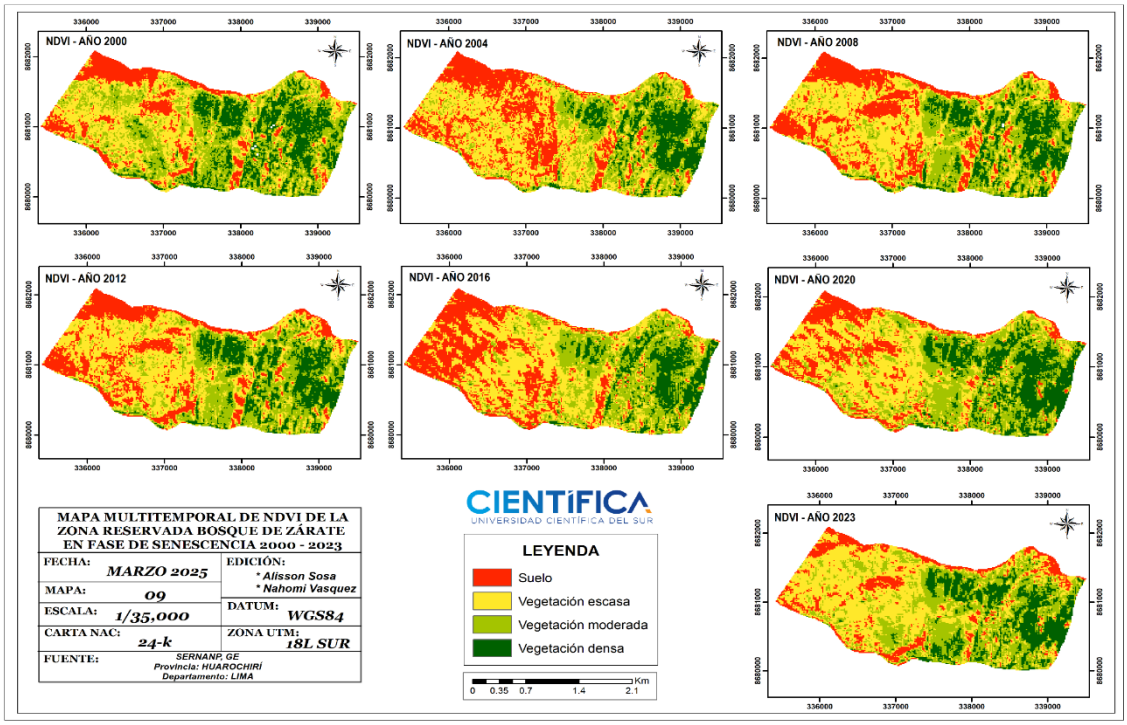
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

el mínimo registrado en esta etapa. Finalmente, en 2023, la cobertura vegetal se mantuvo dentro del mismo rango, con 120 ha, mientras que las áreas sin vegetación ascendieron nuevamente a 435 ha.

En conjunto, los años 2012–2023 evidencian una estabilidad relativa en la cobertura vegetal durante la fase de senescencia, con fluctuaciones menores entre años consecutivos y sin cambios abruptos como los observados en los primeros años del periodo analizado.

Figura 7.

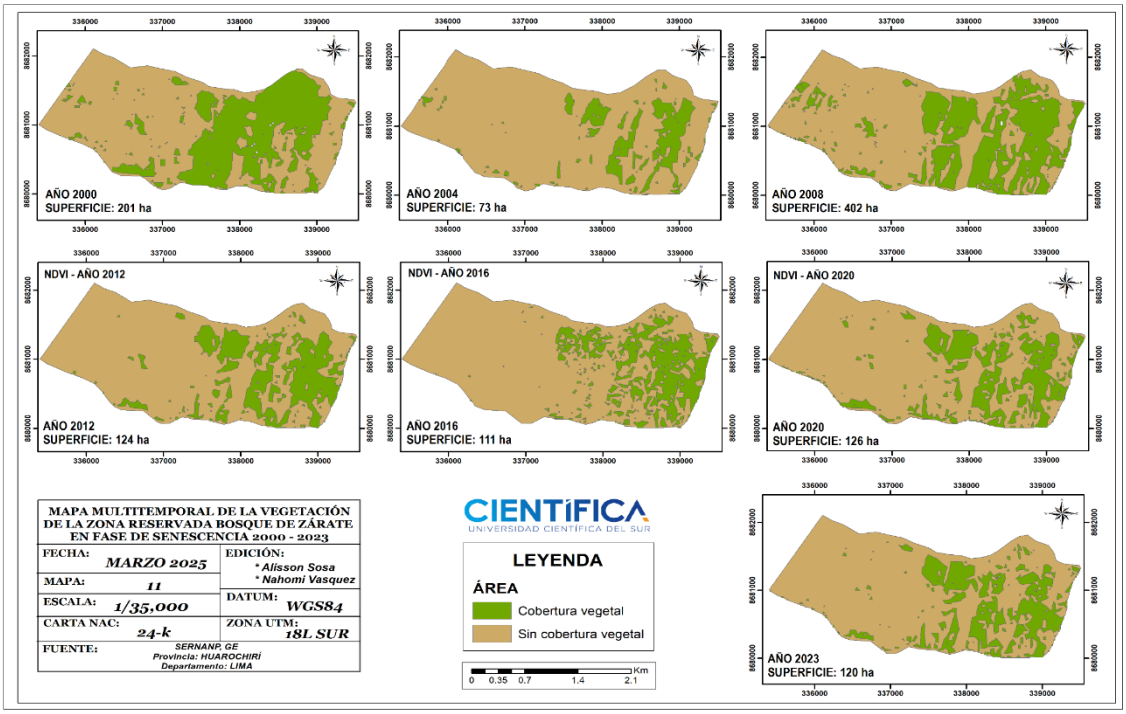
Mapa multitemporal de NDVI de la ZRBZ en fase de senescencia 2000-2023



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 8.

Mapa multitemporal de la vegetación de la ZRBZ en fase de senescencia 2000-2023



Los mapas multitemporales de la fase de senescencia muestran una tendencia espacial constante a lo largo del tiempo, caracterizada por la reducción paulatina de la vegetación en el sector oeste del bosque y el aumento de superficies clasificadas como suelo. Asimismo, se evidencia una reducción visual de las superficies con estrato vegetal denso, que van fragmentándose y siendo reemplazadas por vegetación escasa o moderada, lo que refleja un deterioro gradual del vigor y continuidad del paisaje vegetal en la ZRBZ.

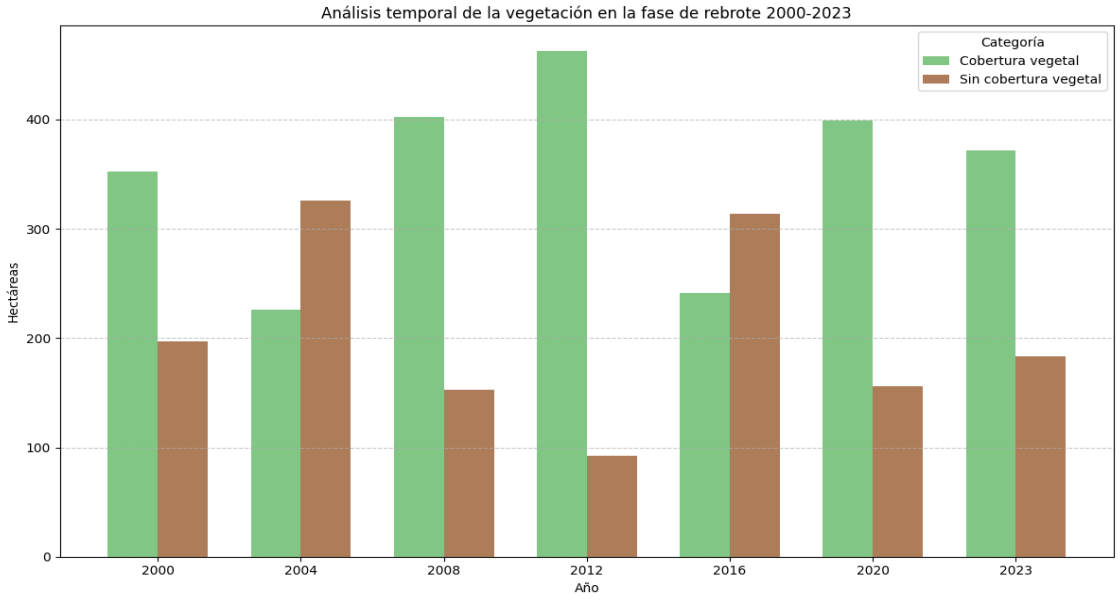
c. Cobertura vegetal en fase de rebrote

La Figura 9 ilustra la variación de las áreas con y sin vegetación durante la fase de rebrote en el intervalo de años 2000–2023, complementándose con la información espacial detallada en las Figuras 10 y 11, donde se representan los cambios multitemporales del NDVI y la cobertura vegetal, respectivamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 9.

Análisis temporal de la vegetación en la fase de rebrote 2000-2023



En 2000, la cobertura vegetal alcanzó 352 ha, estableciendo la referencia inicial del análisis. En 2004 se registró una disminución a 226 ha, acompañada por un aumento de las áreas sin vegetación (326 ha). Posteriormente, la cobertura mostró una recuperación sostenida, con valores de 402 ha en 2008 y un máximo de 463 ha en 2012, mientras que las áreas sin cobertura vegetal descendieron progresivamente hasta 92 ha en 2012, el valor mínimo del periodo analizado.

Durante los años 2016 a 2023, los valores mostraron una fluctuación moderada, con una disminución del dosel vegetal a 241 ha en 2016, seguida de un incremento a 399 ha en 2020 y un leve descenso a 372 ha en 2023. En paralelo, las superficies sin cobertura vegetal presentaron un comportamiento inverso, aumentando a 314 ha en 2016, reduciéndose a 156 ha en 2020 y alcanzando 183 ha en 2023.

En términos generales, los registros del dosel vegetal en la fase de rebrote se mantuvieron consistentemente superiores a los de la superficie sin vegetación durante

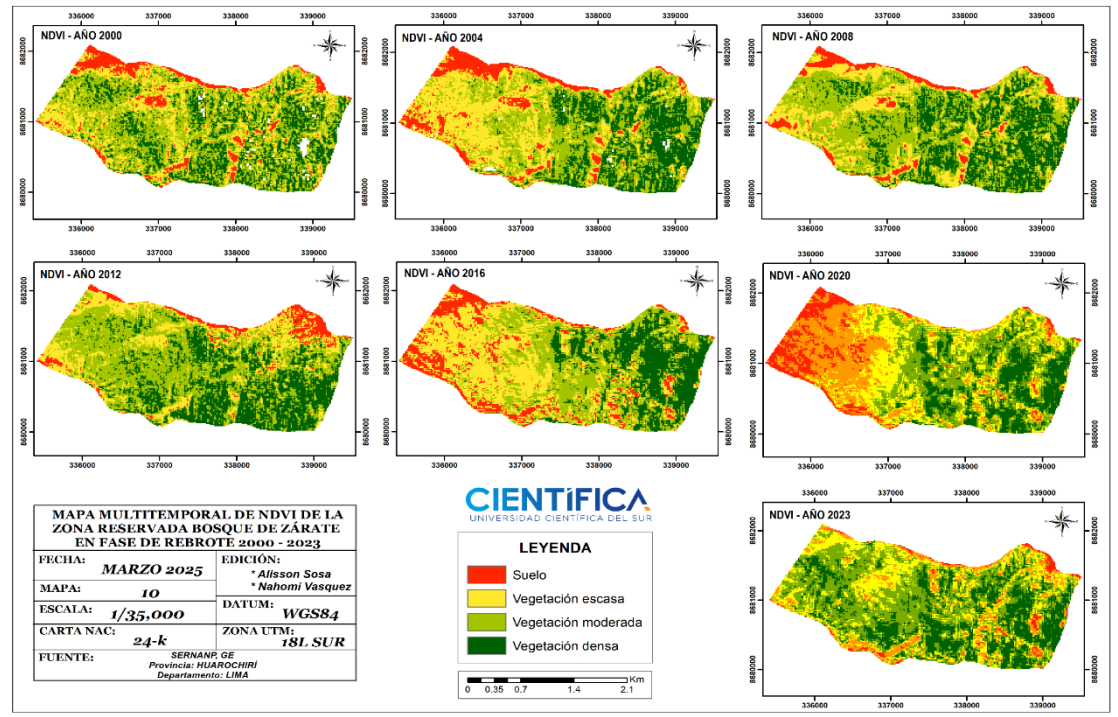
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

todo el periodo analizado. El promedio general de cobertura vegetal fue de 354 ha, mientras que el promedio de áreas sin vegetación fue de 203 ha, lo que implica una diferencia promedio de 151 ha a favor de la vegetación.

Los años 2008, 2012, 2020 y 2023 muestran altos niveles de cobertura vegetal y bajas proporciones de suelo descubierto, en contraste con 2004 y 2016, donde predominan las áreas sin vegetación. Esto indica una mayor estabilidad de la cobertura vegetal en el periodo reciente (2012–2023) frente a las fluctuaciones más marcadas de 2000–2008.

Figura 10.

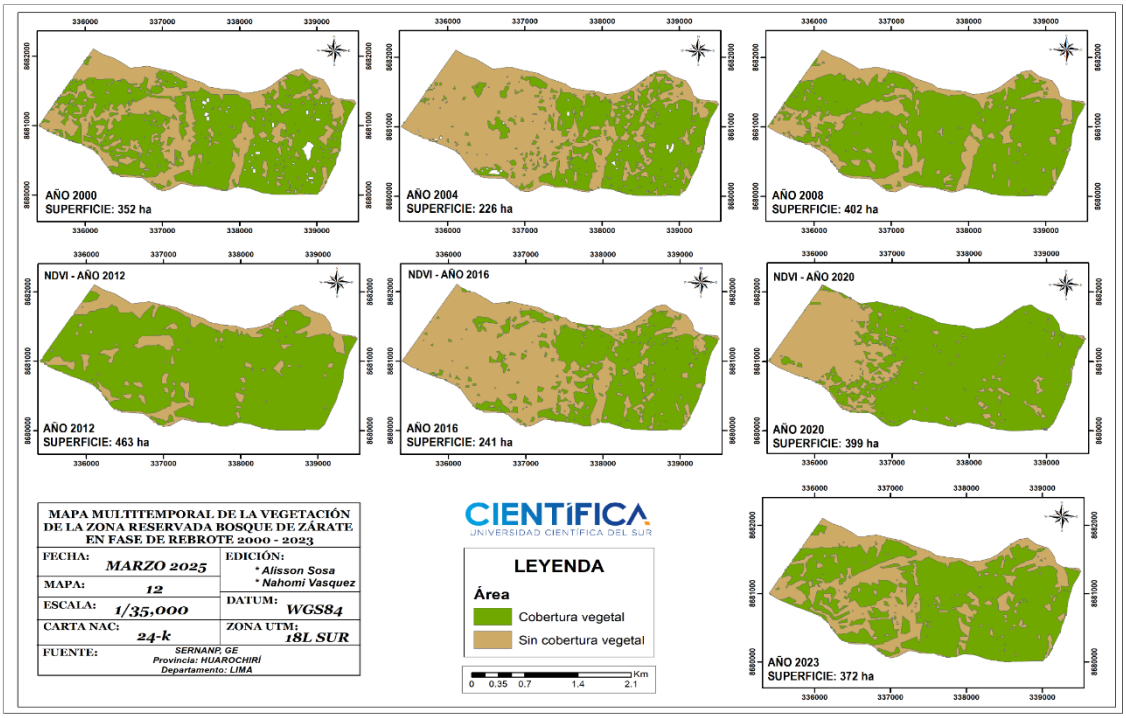
Mapa multitemporal de NDVI de la ZRBZ en fase de rebrote 2000-2023



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 11.

Mapa multitemporal de la vegetación de la ZRBZ en fase de rebrote 2000-2023



Los mapas multitemporales de la fase de rebrote muestran que la ZRBZ mantiene una cobertura vegetal amplia y continua, predominando áreas de vegetación moderada a densa con alto vigor. Las zonas sin cobertura o con menor vigor son reducidas y dispersas, aunque en la zona oeste se observa una ligera y recurrente disminución de densidad a lo largo de los años.

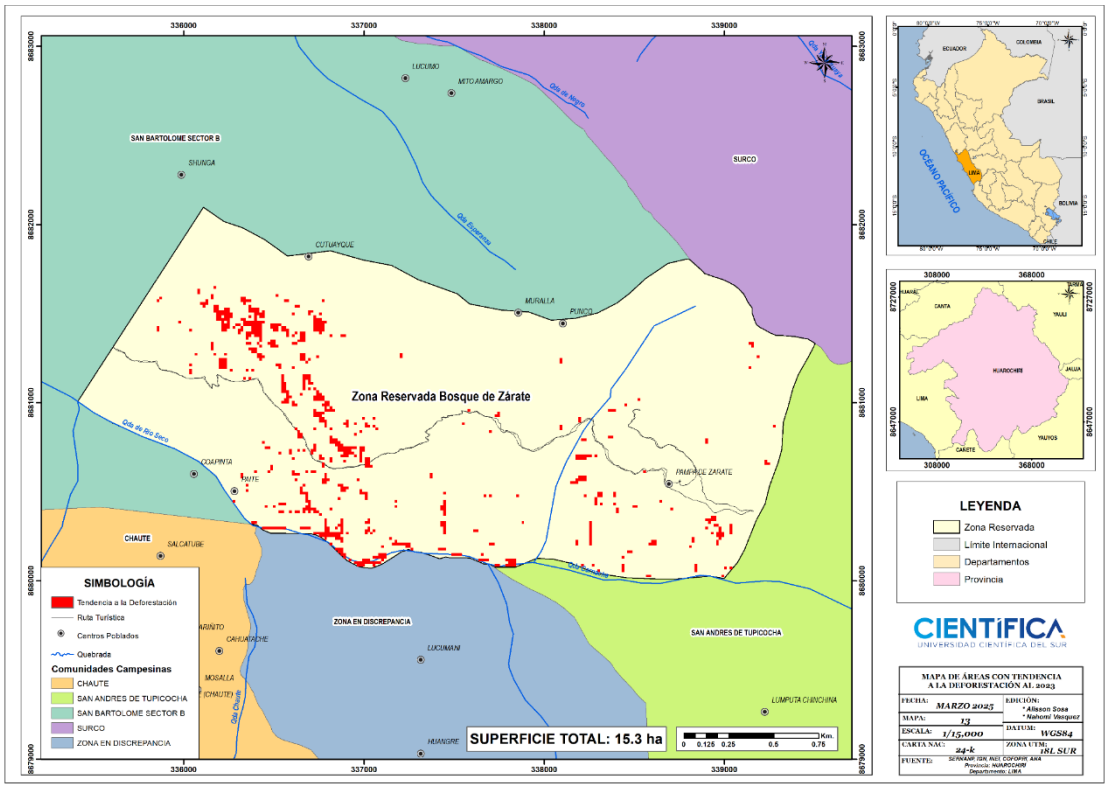
13.4. Áreas degradadas

En base a los resultados del coeficiente Mann-Kendall Tau y el valor de significancia, se identificaron las áreas degradadas de la ZRBZ (véase Figura 12), las cuales corresponden a sectores donde la vegetación muestra tendencias sostenidas a la pérdida de cobertura y vigor hasta el año 2023.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 12.

Mapa de áreas degradadas al 2023



La Figura 12 muestra 15,3 ha de áreas degradadas, donde la pérdida parcial de cobertura vegetal es persistente y estadísticamente significativa según el test de Mann-Kendall. Estas zonas reflejan el deterioro acumulativo de la vegetación y constituyen un insumo clave para identificar áreas prioritarias de restauración en la reserva.

13.5. Áreas prioritarias de restauración

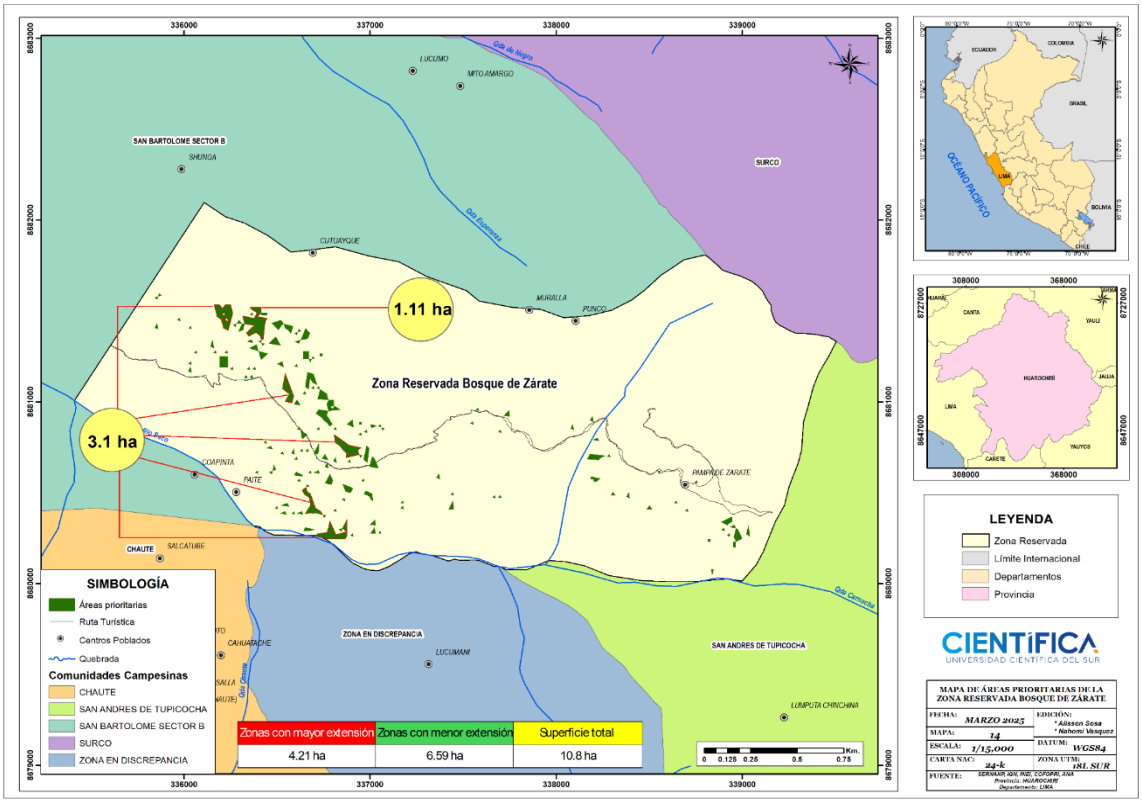
A partir del mapa de áreas degradadas identificado previamente, se realizó un análisis multicriterio mediante la herramienta Weighted Overlay en ArcGIS, utilizando dicho mapa como insumo principal. Las variables ecológicas y socioeconómicas fueron reclasificadas y ponderadas en una escala de 1 a 5 según su importancia relativa. Posteriormente, las capas temáticas fueron integradas en un único raster, permitiendo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

identificar espacialmente las áreas prioritarias de restauración en la ZRBZ (véase Figura 13).

Figura 13.

Mapa de áreas prioritarias de restauración



La Figura 13 muestra que las áreas prioritarias se concentran principalmente en la región oeste y en diversas zonas del sureste del bosque. La extensión total de estas áreas alcanza 10,8 ha, lo que representa el 1.98 % del bosque. En el mapa se detalla la distribución de estas zonas, señalando los sectores con mayor y menor extensión, lo que permite identificar dónde la intervención para restauración será más estratégica.

13.6. De las visitas de campo

Durante las dos visitas a la ZRBZ se registraron evidencias que permitieron complementar e interpretar los resultados obtenidos en la identificación de áreas degradadas y prioritarias de restauración. En la primera visita, Víctor Chávez, indicó que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

la zona de amortiguamiento del Bosque de Zárate presentaba históricamente una vegetación relativamente diversa, con presencia de especies como chachacomo, calatillo y lloque, además de aliso en zonas de quebradas. Refirió que durante la década de 1980 el lloque era abundante en el área, mientras que en los años 90 esta cobertura vegetal disminuyó considerablemente debido al sobrepastoreo, principalmente por el ingreso de ganado caprino proveniente de comunidades vecinas.

Asimismo, señaló que a partir del año 2000, con la progresiva reducción de la actividad ganadera y la ocurrencia de periodos de sequía, se inició un proceso de revegetación natural, aunque con respuestas diferenciales entre especies, evidenciándose una mejor recuperación del chachacomo y el calatillo, mientras que el lloque presentó mayores dificultades de regeneración. Añadió que esta especie, además de su importancia ecológica, fue tradicionalmente utilizada como fuente de leña. En relación con la fauna, manifestó la presencia ocasional de especies como la cotinga y la torcaza, observando esta última cambios en su distribución hacia zonas agrícolas en épocas recientes, posiblemente asociados a la disminución de la cobertura forestal o a patrones estacionales.

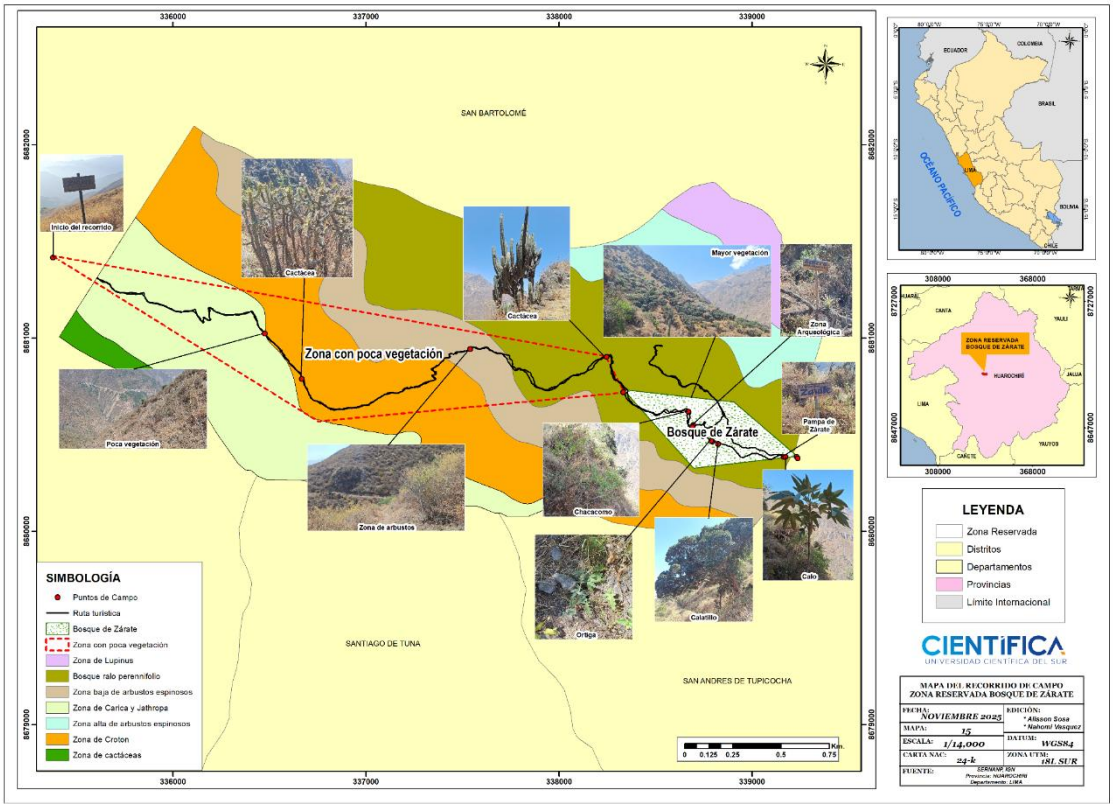
Finalmente, indicó que el proceso de recuperación del bosque se fortaleció tras la prohibición del ingreso de ganaderos a partir de los años 2005–2010 y la reducción de actividades de tala y sobrepastoreo, aunque mencionó que el único proyecto formal de reforestación se realizó en 2019 con aproximadamente 5 000 plantones, los cuales tuvieron una supervivencia limitada debido a factores como falta de riego, alta radiación solar y escaso soporte logístico, persistiendo actualmente esfuerzos comunitarios de mantenimiento con recursos limitados.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En la segunda visita (Figura 14), durante el recorrido de campo, se observó vegetación densa en el bosque y su zona de amortiguamiento, mientras que en áreas externas predominaban cactáceas, arbustos y maleza, residuos en los caminos, zonas arqueológicas y señalización limitada. Estas observaciones coincidieron con las áreas degradadas y prioritarias de restauración identificadas mediante el análisis espacial, especialmente en sectores con mayor intervención antrópica.

Figura 14.

Mapa del recorrido de campo de la ZRBZ



13.7. Análisis estadístico

a. Índice Kappa

Los resultados del índice Kappa para la clasificación supervisada en la ZRBZ se presentan en la Tabla 6, mostrando valores que varían según las diferentes fases y años analizados. Estos valores fueron fundamentales para determinar la calidad de la clasificación y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

asegurar que las áreas identificadas como cobertura vegetal y sin cobertura vegetal en el análisis fueran representativas de la realidad observada en campo.

Tabla 6.

Índice Kappa 2000-2023

Año	Fase de senescencia	Fase de rebrote
2000	0.85	0.98
2004	0.9	0.95
2008	0.81	0.84
2012	0.81	0.85
2016	0.95	0.97
2020	0.91	0.85
2023	0.9	0.86

La Tabla 6 muestra que, durante la fase de senescencia, los valores del índice Kappa oscilan entre 0,81 y 0,95, lo que refleja una precisión generalmente alta en la clasificación de la cobertura vegetal. Destacan los años 2004 y 2016, con valores máximos de 0,90 y 0,95, respectivamente, lo que indica un mejor desempeño de la clasificación supervisada en dichos periodos. Estas diferencias pueden estar relacionadas con variaciones temporales en la cobertura vegetal y en la respuesta espectral de las imágenes analizadas.

Durante la fase de rebrote, los valores del índice Kappa son ligeramente superiores a los de la senescencia, oscilando entre 0,84 y 0,98. El valor máximo de 0,98 se registró en el año 2000, lo que indica una excelente precisión en la clasificación de la cobertura vegetal en ese periodo. En años más recientes, como 2020 y 2023, se observa una ligera disminución de la precisión, con valores de 0,85 y 0,86, respectivamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Los valores del índice Kappa fueron mayores en la fase de rebrote que en la senescencia, mostrando alta concordancia en ambas fases y consistencia en los análisis de cobertura vegetal.

XIV. Discusión

14.1. Selección del índice más óptimo

El comportamiento más consistente del NDVI puede interpretarse a partir de su correspondencia con las condiciones estructurales y espectrales del Bosque de Zárate. Al fundamentarse en el contraste entre la banda roja y el infrarrojo cercano, este índice refleja directamente la actividad fotosintética y el vigor vegetal, lo que le permite registrar con claridad los cambios fenológicos entre senescencia y rebrote en coberturas de densidad intermedia (Mendoza et al., 2024; Klimisch, 2022). Esta capacidad resulta especialmente pertinente en ecosistemas donde la variabilidad estacional no implica transiciones hacia coberturas extremadamente densas ni completamente desnudas.

Diversos estudios indican que el NDVI presenta menor sensibilidad a las variaciones del suelo cuando la cobertura vegetal es moderada y, además, su formulación simple reduce la propagación de errores asociados al procesamiento espectral (Adaze et al., 2022; Rodríguez-Moreno y Bullock, 2014). En ambientes heterogéneos con parches de vegetación y sectores parcialmente expuestos, esta estabilidad metodológica favorece una representación consistente de la dinámica vegetal sin requerir factores de corrección adicionales.

En contraste, el SAVI fue concebido para escenarios con vegetación muy escasa y fuerte influencia del brillo del suelo, donde la señal espectral está dominada por superficies desnudas (Somvanshi y Kumari, 2020; Almutairi et al., 2013). Por su parte, el EVI

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

optimiza la respuesta espectral en coberturas densas y homogéneas con alta concentración de clorofila, reduciendo además ciertos efectos atmosféricos (Klimisch et al., 2022). Estas ventajas específicas, aunque relevantes en contextos extremos, no necesariamente incrementan la capacidad explicativa en sistemas de cobertura mixta y estructura intermedia.

La solidez metodológica del NDVI también se sustenta en evaluaciones basadas en métricas integrales como el F1 Score, complementadas con matrices de confusión y medidas de dispersión, las cuales permitieron evaluar de manera conjunta la precisión y sensibilidad en la detección de cambios de cobertura (Saire et al., 2024; Garcia, 2024). La combinación entre fundamento biofísico, estabilidad frente a variaciones del suelo y validación mediante métricas robustas explica su idoneidad para el monitoreo de la dinámica vegetal en contextos ambientales variables (Mendoza et al., 2024; Klimisch, 2022).

14.2. Evolución espacio-temporal de la cobertura vegetal 2000-2023

La reducción inicial de la cobertura entre 2000 y 2004 podría reflejar la acumulación de presiones históricas sobre el bosque. Desde mediados del siglo XX se reportaba que el pastoreo caprino limitaba la regeneración natural, mientras que la ganadería, la extracción de leña y la degradación del suelo continuaron afectando la estructura del ecosistema durante las décadas siguientes (Arozena, 2015; Calero, 2018; Belli, 2018). Asimismo, la escasa regeneración juvenil observada en años previos sugiere que el bosque ingresó al siglo XXI con una capacidad reducida de recuperación frente a perturbaciones ambientales (Arozena, 2015; Mamani, 2017).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Esta interpretación es consistente con los testimonios locales. Según Víctor Chávez, la cobertura de lloque disminuyó notablemente durante las décadas de 1980 y 1990 debido al sobrepastoreo caprino, mientras que la reducción progresiva de la actividad ganadera desde inicios de los años 2000 habría favorecido procesos de revegetación natural, aunque con respuestas diferenciadas entre especies (Chávez, comunicación personal, 2025).

En este contexto, el evento El Niño 2002–2003 podría haber intensificado el estrés hídrico del sistema. La dependencia del bosque respecto a la humedad de neblina sugiere que las variaciones en la nubosidad y en los aportes de agua por condensación podrían influir sobre su balance hídrico (Calero, 2018; Toledo, 2009; Ritter et al., 2005). Esta interpretación es consistente con lo observado en otros ecosistemas dependientes de niebla, como los oasis de niebla de Atacama y los páramos andinos, donde la reducción de la humedad atmosférica se ha asociado con respuestas negativas de la vegetación (Del Río et al., 2021; Berrones et al., 2022).

La recuperación observada entre 2004 y 2012 podría estar asociada tanto a una disminución de las presiones locales como a la estabilización de las condiciones climáticas posteriores a ENSO. La mayor atención sobre el estado de conservación del bosque, junto con la reducción del pastoreo, podrían haber contribuido a la regeneración de la cobertura vegetal (Arozena, 2015; Calero, 2018; Chávez, comunicación personal, 2025). Procesos comparables han sido documentados en ecosistemas peruanos dependientes de niebla, como las lomas costeras y los bosques de Atiquipa, donde la reducción de perturbaciones se ha relacionado con procesos de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

recuperación de la vegetación y aumento de la resiliencia ecológica (Tovar et al., 2018; Balaguer et al., 2011).

El deterioro registrado entre 2012 y 2016 podría estar asociado a un proceso de estrés climático acumulativo. La disminución de las lluvias estivales y el incremento de la temperatura reportados para la zona son consistentes con escenarios de cambio climático que afectan la disponibilidad hídrica y la regeneración en bosques montanos (Arozena, 2015; MINAM, 2011; Still et al., 1999; Foster, 2001). Asimismo, los patrones observados son consistentes con los efectos esperados del evento El Niño 2015–2016 sobre ecosistemas sensibles a las variaciones de humedad (ENFEN, 2016; SENAMHI, 2016; Garreaud, 2018; Espinoza et al., 2017).

La fragmentación podría representar un factor adicional de vulnerabilidad, ya que puede incrementar los efectos de borde, reducir la humedad interna del bosque y disminuir la captación de niebla, afectando la capacidad del ecosistema para enfrentar periodos secos (Laurance et al., 2002; Bruijnzeel, 2004; Bruijnzeel et al., 2011).

La estabilización observada entre 2016 y 2023 podría estar asociada temporalmente con el evento La Niña 2020–2023, el cual favoreció condiciones relativamente más húmedas en diversos sectores andinos (Poveda et al., 2001; Garreaud et al., 2009;World Meteorological Organization [WMO], 2022). Esta tendencia también es consistente con la evaluación registrada entre el año 2018 y 2019, que registra procesos de recuperación estructural y funcional del bosque posteriores al retiro de la actividad ganadera, incluyendo regeneración arbórea e incremento de la densidad de aves (Mendoza, 2025). Asimismo, la estructura de la vegetación podría representar un componente clave para

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

la avifauna del Bosque de Zárate, por lo que las variaciones en la cobertura forestal podrían influir en la disponibilidad de hábitat para diversas especies (Franke, 2015).

No obstante, la transición hacia El Niño 2023–2024 representa un nuevo escenario de riesgo para el ecosistema (WMO, 2023). La persistencia de condiciones más cálidas y secas podría afectar los avances observados en la recuperación de la cobertura vegetal y de los componentes biológicos asociados, particularmente en ecosistemas montanos sensibles a las variaciones de temperatura y disponibilidad hídrica (Still et al., 1999; Foster, 2001).

En conjunto, los patrones observados en la cobertura vegetal entre 2000 y 2023 son consistentes con la influencia combinada de presiones históricas de uso del suelo, variabilidad climática asociada a ENSO, fragmentación y cambio climático. Aunque se observa una tendencia reciente hacia la estabilización de la cobertura vegetal, la persistente dependencia del bosque respecto a la humedad atmosférica y su condición fragmentada sugieren que su resiliencia continúa siendo limitada frente a futuras perturbaciones climáticas. En este contexto, el mantenimiento de las medidas de conservación y el monitoreo continuo del ecosistema resultan fundamentales para favorecer su recuperación a largo plazo.

14.3. Áreas degradadas

El análisis mediante el coeficiente Mann-Kendall y los valores del NDVI permitió identificar con precisión las áreas degradadas dentro de la ZRBZ, demostrando la utilidad de estas herramientas para el análisis temporal de ecosistemas terrestres (Tinoco, 2023; Uvidia, 2020; Roque, 2022; Darabi et al., 2025; Guo et al., 2018; Kumar et al., 2022). De manera complementaria, estudios en otras regiones muestran que tendencias

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

decrecientes del NDVI y EVI pueden ser no significativas debido a factores climáticos y altitudinales, aun cuando la degradación persiste localmente (Narvaez, 2023; García y Zhingre, 2025).

En la ZRBZ, la degradación se concentra cerca de rutas turísticas y zonas agrícolas, así como en sectores altos y bajos del bosque donde persisten los efectos de tala histórica y sobrepastoreo (Mires, 2016; Calero, 2018). A pesar de iniciativas de reforestación, la recuperación se ve limitada por condiciones climáticas locales, como baja radiación solar y humedad restringida, que mantienen tendencias negativas en el NDVI (Taylor et al., 2025; Ramírez et al., 2018; Posite et al., 2025).

La heterogeneidad de la degradación refleja la interacción compleja de factores históricos, climáticos y ecológicos. Los estudios sobre presión humana y monitoreo de vegetación resaltan la utilidad de NDVI y pruebas de tendencia para identificar cambios (Tinoco, 2023; Uvidia, 2020; Roque, 2022). Además, se observa que zonas con tendencias decrecientes coexisten con áreas relativamente estables, afectadas por altitud y condiciones climáticas locales (Narvaez, 2023; García y Zhingre, 2025). Por otro lado, prácticas extractivas y ganaderas contribuyen a la degradación histórica (Mires, 2016; Calero, 2018), mientras que barreras ecológicas y climáticas limitan la regeneración natural, explicando la persistencia de áreas degradadas (Taylor et al., 2025; Ramírez et al., 2018; Posite et al., 2025).

14.4. Áreas prioritarias de restauración

La delimitación de áreas prioritarias de restauración responde a la interacción entre accesibilidad, presión humana histórica y condiciones ambientales que limitan la regeneración vegetal. Las zonas de mayor prioridad coinciden con los sectores de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ingreso al bosque por la ruta turística, donde la accesibilidad favorece la intervención directa, como el sobrepastoreo y la tala selectiva, identificados por el vicepresidente comunal (2025). Esta presión acumulativa explica por qué los análisis con NDVI y el coeficiente Mann-Kendall asignan una alta prioridad de restauración a estos sectores, en concordancia con lo señalado por Christmann et al. (2025) para bosques montanos andinos. La limitada recuperación de reforestaciones previas, afectadas por radiación intensa, aridez y falta de riego, refuerza la señal de alta prioridad, en línea con Sánchez-Romero et al. (2025), quienes muestran que estas condiciones restringen la regeneración forestal en climas secos.

Por contraste, áreas con menor prioridad se ubican en sectores más alejados de la influencia antrópica directa, aunque mantienen impactos residuales de actividades históricas de sobrepastoreo (vicepresidente comunal, 2025). La presencia de degradación en estos sectores, pese a un acceso limitado, explica por qué algunas áreas de baja presión aún reciben consideración en los análisis como prioritarias, reforzando la idea de que la metodología NDVI–Mann-Kendall refleja tanto la magnitud como la persistencia de la perturbación (Calero, 2018).

La identificación de prioridades también se relaciona con las barreras ecológicas inherentes a ciertas áreas, donde factores como suelos compactados, radiación elevada y condiciones climáticas restrictivas limitan la recuperación natural, haciendo que estas zonas destaquen en los análisis como críticas para intervención (Franke, 2015; Calero, 2018; Sánchez-Romero et al., 2025). Asimismo, la influencia histórica del sobrepastoreo de cabras, señalada por Koepcke (Calero, 2018) y persistente hasta mediados de los años 2000 (Calero, 2018; Arozena, 2015), explica que algunas áreas, aunque menos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

accesibles, presenten alta prioridad debido a la vulnerabilidad acumulativa de la cobertura vegetal.

Los resultados del análisis multicriterio muestran que las áreas prioritarias de restauración se concentran principalmente en el sector oeste y en zonas dispersas del sureste del Bosque de Zárate, alcanzando 10,8 ha (1,98 % del bosque). Esta distribución estaría asociada a la presencia de bosque relicto mesoandino y a la proximidad a la quebrada Río Seco, debido a su importancia ecológica en la conservación de biodiversidad y regulación hídrica (Meli et al., 2017). Asimismo, las zonas con pendientes mayores a 45° y alta erosividad fueron priorizadas por su mayor susceptibilidad a erosión y pérdida de suelo, condiciones que incrementan los procesos de degradación ambiental (Morgan, 2005). Finalmente, la priorización de áreas con baja accesibilidad coincide con lo señalado por Laurance et al. (2014), quienes indican que los sectores menos accesibles suelen presentar menor presión antrópica y mejores condiciones para la conservación y recuperación ecológica.

XV. Conclusiones

- El NDVI fue el índice más adecuado para evaluar la cobertura vegetal en la Zona Reservada Bosque de Zárate, debido a su capacidad para reflejar el vigor y la dinámica de la vegetación en ecosistemas heterogéneos.
- Entre 2000 y 2016, la cobertura vegetal presentó una reducción que podría estar asociada principalmente a actividades antrópicas como el pastoreo y la tala; sin embargo, en algunos periodos se observó recuperación que podría relacionarse con la disminución de estas presiones y con acciones de conservación implementadas en el área.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Entre 2020 y 2023 se observa una tendencia hacia la estabilización de la cobertura vegetal, la cual podría estar asociada a condiciones climáticas más favorables y a la reducción de presiones locales, aunque esta recuperación aún sería parcial y dependiente de la variabilidad ambiental.
- Los eventos climáticos El Niño y La Niña podrían haber influido en la dinámica de la vegetación al modificar la humedad y las precipitaciones, lo que sugiere una alta sensibilidad del bosque frente a la variabilidad climática.
- El análisis de NDVI y Mann-Kendall identificó 15,3 ha de áreas degradadas, localizadas principalmente cerca de rutas turísticas y zonas con antecedentes de tala y sobrepastoreo.
- El análisis multicriterio permitió priorizar 10,8 ha para restauración ecológica, concentradas principalmente en el oeste y sureste del bosque, donde convergen factores de degradación, erosión y presión antrópica.
- En conjunto, los resultados indican que la dinámica de la cobertura vegetal en la Zona Reservada Bosque de Zárate podría estar determinada por la interacción entre actividades humanas, variabilidad climática y condiciones ecológicas propias del ecosistema.

XVI. Recomendaciones

- Se recomienda que el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) utilice los mapas de áreas degradadas y prioritarias generados en esta investigación como insumo técnico para planificar acciones de restauración en la Zona Reservada Bosque de Zárate, priorizando las 10,8 ha identificadas con mayor susceptibilidad a degradación y erosión.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Se recomienda implementar acciones concretas de restauración ecológica en las áreas priorizadas, incluyendo reforestación con especies nativas, control de erosión en laderas de alta pendiente y recuperación de sectores cercanos a la quebrada Río Seco, con el fin de favorecer la regeneración natural y la estabilidad del suelo.
- Se sugiere establecer un programa permanente de monitoreo mediante NDVI e imágenes satelitales para evaluar periódicamente los cambios en la cobertura vegetal y la efectividad de las acciones de restauración, facilitando la actualización de mapas y la toma de decisiones por parte del SERNANP y actores locales.
- Se recomienda fortalecer la participación de las comunidades locales mediante jornadas de reforestación, vigilancia comunitaria y educación ambiental, promoviendo el uso de los mapas generados para identificar zonas críticas y reducir actividades que incrementen la degradación del bosque.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

XVII. Referencias bibliográficas

Adaze, E., Algouti, A., Algouti, A., Farah, A., & Elbadaoui, K. (2022). The normalized difference vegetation index (NDVI) of the Zat Valley, Marrakech: Comparison and dynamics. *Heliyon, 8*(12), e12204. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12204

Alatorre, L., Torres, M., Sanchez, E., Granados-Olivas, A., Bravo, L. & Maldonado, J. (2020). Dinámica temporal de la actividad vegetal en zonas degradadas por *Ips confusus* en bosque de *Pinus cembroides*: región central de Chihuahua (2000-2014). *Instituto de Arquitectura Diseño y Arte* (pp. 111-156). Universidad Autónoma de Ciudad de Juárez. http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/16108

Alemagi, D. & Kozak, R. A. (2010). Illegal logging in Cameroon: Causes and the path forward. *Forest Policy and Economics, 12*(8), 554-561. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2010.07.008

Almalki, R., Khaki, M., Saco, P. M. y Rodriguez, J. F. (2022). Monitoring and Mapping Vegetation Cover Changes in Arid and Semi-Arid Areas Using Remote Sensing Technology: A Review. *Remote Sens*, *14*(20), 5143. https://doi.org/10.3390/rs14205143

Almutairi, B., El Battay, A., Ait Belaid, M., & Musa, N. (2013). Comparative study of SAVI and NDVI vegetation indices in Sulaibiya area (Kuwait) using WorldView satellite imagery. *International Journal of Geosciences and Geomatics*, *1*(2), 50–53. https://www.researchgate.net/publication/299469974_Comparative_Study_of_SAVI_and_NDVI_Vegetation_Indices_in_Sulaibiya_Area_Kuwait_Using_Worldview_Satellite_Imagery

Aquino, Willy, Condo, Florangel, Romero, Johan, Yllaconza, Rayda, & La Torre, María I.. (2018). Composición florística del distrito de Huarochirí, provincia de Huarochirí (Lima, Perú). *Arnaldoa*, *25*(3), 877-922. https://doi.org/10.22497/arnaldoa.253.25305

Arozena, A. I. (2015). *"Comunidad Campesina de San Bartolomé y el Bosque de Zárate: Estudio de caso sobre narrativas de valoración de los recursos naturales en una comunidad de montaña de Huarochirí, Lima"* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6305

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Bakolo, C., Kayitete, L., de Dieu, J., Tomlinson, J., Fawcett, J. & Figueroa, R. (2024). Identification of optimal locations for green space initiatives through GIS-based multi-criteria analysis and the analytical hierarchy process. *Environmental Systems Research, 13,* 46. https://doi.org/10.1186/s40068-024-00377-0

Balaguer, L., Arroyo-García, R., Jiménez, P., Jiménez, M. D., Villegas, L., Cordero, I., Rubio de Casas, R., Fernández-Delgado, R., Ron, M. E., Manrique, E., Vargas, P., Cano, E., Pueyo, J. J., & Aronson, J. (2011). *Forest restoration in a fog oasis: Evidence indicates need for cultural awareness in constructing the reference*. *PLoS ONE, 6*(8), e23004. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023004

Baniya, B., Tang, Q., Huang, Z., Sun, S., & Techato, K. (2018). Spatial and temporal variation of NDVI in response to climate change and the implication for carbon dynamics in Nepal. *Forests, 9(6), 329*. https://doi.org/10.3390/f9060329

Barrio, J. (1995). Rufous-breasted Warbling-finch Poospiza rubecula in Bosque Zárate, Peru. Cotinga, 13, 31–33. https://neotropicalbirdingandconservation.org/wp-content/uploads/2025/07/03-cotinga-13-rufous-breasted-warbling-finch-poospiza-rubecula-in-bosque-zarate-peru.pdf

Becker, W. R., Berticelli Ló, T., Johann, J. A. & Mercante, E. (2021). Statistical features for land use and land cover classification in Google Earth Engine. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 21*. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100459

Belli Obando, V. (2018). *Estudio etnobotánico y morfológico de "mito" (Vasconcellea candicans) con énfasis en plántulas* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. https://hdl.handle.net/20.500.12996/3754

Berrones, G., Crespo, P., Ochoa-Sánchez, A., Wilcox, BP, y Célleri, R. (2022). Importancia de las contribuciones del agua de niebla y nubes a la humedad del suelo en el páramo andino. *Hidrología* , *9* (4), 54. https://doi.org/10.3390/hydrology9040054

Bhosle, S. S., & Prapti, R. (2025). Evaluating NDVI, GNDVI, EVI, and SAVI for accurate crop identification using Random Forest classification. *International Journal on Science and Technology, 16*(4). https://www.ijsat.org/papers/2025/4/9800.pdf

Biswas, J., Jobaer, M. A., Haque, S. F., Shozib, M. S. I. & Limon, Z. A. (2023). Mapping and monitoring land use land cover dynamics employing Google Earth Engine and

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

machine learning algorithms on Chattogram, Bangladesh. *Heliyon, 9*(11). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21245

Bogale, T., Degefa, S., Dalle, G., Abebe, G. (2025). Spatiotemporal vegetation dynamics in response to precipitation and land surface temperature in the Welmel watershed, southeastern Ethiopia. *Discover Applied Sciences, 7,* 946. https://doi.org/10.1007/s42452-025-06890-w

Borja, C. (2020). *Análisis de la variabilidad espacio-temporal del índice de vegetación mejorado (EVI) y su relación con índices atmosféricos globales en el páramo ecuatoriano* [Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20950

Bubb, P., May, I., Miles, L., & Sayer, J. (2004). *Cloud Forest Agenda.* Cambridge (UK): United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre. https://doi.org/10.34892/HR2V-XP24

Brack Egg, A., & Mendiola Vargas, C. (2004). Ecología del Perú (2.ª ed.). Asociación Editorial Bruño. https://www.peruecologico.com.pe/libro.htm

Bruijnzeel, L. A., Mulligan, M., & Scatena, F. N. (2011). Hydrometeorology of tropical montane cloud forests: Emerging patterns. *Hydrological Processes*, 25(3), 465–498. https://doi.org/10.1002/hyp.7974

Bruijnzeel, L. A. (2004). Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment, 104*(1), 185–228. https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015

Calero, D. (2018). *Identificación de servicios ecosistémicos del bosque de Zárate, provincia de Huarochirí (Lima)* [Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú]. http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12264

Campos, A., Guerrero, E., & Gines, E. (2018). Evolución de la cobertura vegetal en el Parque Nacional Cerros de Amotape de Tumbes utilizando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): 2000–2014. *Manglar*, *15*(1), 47-56.

Canul-Turriza, R. A., Aké-Turriza, K., May-Tzuc, O., & Jiménez-Torres, M. (2024). Análisis espaciotemporal de islas de calor aplicado en la ciudad costera de San Francisco de Campeche, México. *Urbano*, *27*(49), 08–23. https://doi.org/10.22320/07183607.2024.27.49.01

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Casson, A., & Obidzinski, K. (2002). From new order to regional autonomy: Shifting dynamics of "illegal" logging in Kalimantan, Indonesia. *World Development, 30*(12), 2133–2151. https://doi.org/10.1016/S0305-750X(02)00125-0

CDC-UNALM. (2006). *Análisis del recubrimiento ecológico del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado*. CDC-UNALM/TNC.

Ceceña-Sánchez, M. L., Eaton-González, R., Solís-Cámara, A. B., Delgadillo-Rodríguez, J., Luna-Mendoza, L., & Ortega-Rubio, A. (2021). Evaluación de cambios en la cobertura vegetal en Isla Guadalupe mediante índices de vegetación. *Madera y bosques*, *27*(1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S14050471202100100116

Chicco, D. & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics, 21*, 6. https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7

Christmann, T., Cjuno-Turpo, I., López-Aranda, M., Wilson, S. J., Cuni-Sanchez, A., Malhi, Y., Ramirez, A., Rondán, V., Medina Castro, F., Mamani, M., Recharte, J., Arenas, M., Aucca Chutas, C., Carrión Moreno, O. A., Gonzalez Cabello, F. B., & Oliveras Menor, I. (2025). 'Sowing and harvesting water': Revisiting forest restoration in the Peruvian Andes through a multi-stakeholder analysis. *People and Nature*, *7*, 631–652. https://doi.org/10.1002/pan3.10787

Chrysostomou, C., Neophytides, S. P., Mavrovouniotis, M., & Hadjimitsis, D. G. (2026). Optimized spectral indices for global vegetation and water mapping using Sentinel-2. *Scientific Reports, 16*, 4491. https://doi.org/10.1038/s41598-025-34720-x

Chuvieco Salinero, E. (1996). Fundamentos de teledetección espacial. *Ediciones Rialp S.A*, Madrid. http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf

Clewell, A. F., & Aronson, J. (2013). *Ecological restoration: Principles, values, and structure of an emerging profession* (2nd ed.). Island Press. https://islandpress.org/books/ecological-restoration-second-edition

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Comisión Multisectorial Encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). (2016). *Informe técnico extraordinario sobre el desarrollo del evento El Niño 2015–2016 en el Perú*. Gobierno del Perú. https://www.gob.pe/institucion/enfen/informes-publicaciones

Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429052729

Contreras-Hinojosa, J. R., Volke-Haller, V.; Oropeza-Mota, J.L., Rodríguez-Franco, C., Martínez-Saldaña, T., Martínez-Garza, Á. (2003). Estado actual y causas de la degradación de los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. *Terra Latinoamericana,* *21*(3), 427-435. https://www.redalyc.org/pdf/573/57311097001.pdf

Cui, Y., Chen, S., Gong, Y., Li, M., Jia, Z., Zhou, Y. & Fu, Y. H. (2025). A vegetation phenology dataset developed by integrating multiple sources using the reliability ensemble averaging method. *Earth System Science Data*, *17*(8), 4005–4022, https://doi.org/10.5194/essd-17-4005-2025

Darabi, H., Haghighi, A. T., Klöve, B., & Luoto, M. (2025). Remote sensing of vegetation trends: A review of methodological choices and sources of uncertainty. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *37*, 101500. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101500

De Alba-Rosano, C., Ceccon, E., Romero-Calcerrada, R., & Rosete-Vergés, F. (2020). Revisión sistemática de cuarenta años de análisis de cambio de uso del suelo en México mediante sistemas de información geográfica. *Revista De Geografía Espacios*, *10*(20), 139-162. https://doi.org/10.25074/07197209.20.1740

Del Río, C., Lobos-Roco, F., Latorre, C. *et al.* Distribución espacial y variabilidad interanual de la niebla costera y la cobertura de nubes bajas en el hiperárido desierto de Atacama e implicaciones para los ecosistemas pasados y presentes *de Tillandsia landbeckii* . *Plant Syst Evol* 307 , 58 (2021). https://doi.org/10.1007/s00606-021-01782-z

Delrieux, C., Ramoscelli, G. & Chiaradía, D. (2001). *Visualización y Procesamiento de Imágenes Satelitales* [Archivo PDF]. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/21753

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Deustua Aris, I. del C. (2019). *Efecto del sobrepastoreo en el estado de conservación del bofedal Conococha, Ancash* [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma]. https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/b0c90f05-969f-45a2-a55f-a5946152fac7

Duan, S., Yang, Z., Han, F., Bayarhuu, B., Mazbayev, O., Dunets, A., & Shishin, M. (2024). Assessment and mapping of priority areas for transboundary ecological conservation: Suggestions for the protection of the Altai Mountains in Central Asia. *Journal for Nature Conservation, 81*, 126671. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126671

Dwire, K. A., & Kauffman, J. B. (2003). Fire and riparian ecosystems in landscapes of the western USA. *Forest Ecology and Management, 178*(1–2), 61–74. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00055-7

EOS Data Analytics (01 de abril 2024). *Imágenes De Satélite Pancromáticas Y Pansharpened*. https://eos.com/es/make-an-analysis/panchromatic

Escobar, H. (2020). *Deforestation in the Brazilian Amazon is still rising sharply*. *Science, 369*(6504), 613. https://doi.org/10.1126/science.369.6504.613

Espinoza, J. C., Marengo, J. A., Ronchail, J., Carpio, J. M., Flores, L. N., & Guyot, J. L. (2017). The extreme 2014–2015 flood in the southwestern Amazon basin: The role of atmospheric circulation anomalies. *Hydrological Processes, 31*(3), 607–618. https://doi.org/10.1002/hyp.11011

Espinoza, J. C., Garreaud, R., Poveda, G., Arias, P. A., Molina-Carpio, J., Masiokas, M., Viale, M., & Scaff, L. (2020). *Hydroclimate of the Andes Part I: Main Climatic Features*. Frontiers in Earth Science, 8, 64. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00064

Esteban, N. I. & Moran, S.S. (2022). *Variación espacial (2016 - 2020) y estado de conservación de humedales altoandinos en el Distrito de Ascensión, Huancavelica* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. https://repositorio.unh.edu.pe/items/818f5690-33ae-4a21-91b6-9223622bfe96

Fabian Tolentino, E. D., Torres Cordero, N. A., Bardales Martínez, M. F., Naquiche Yesquen, D. L., & Ramírez Huaroto, D. W. (2024). Evolución espacio-temporal de las unidades de ordenamiento ambiental (ZPB, ZPAES) y el refugio de vida silvestre

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de Los Pantanos de Villa, Perú (1987-2022). *Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, 13, A-009. https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202401.A009

Farhi, N., Shuai, L. & Kreri, S. (2024). Improved vegetation cover classification using remote sensing images and spectral indices: Case study of Mecheria in Southwestern Algeria. *Advances in Intelligent Systems Research,* 73-88. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-496-9_7

Fawcett, D., Sitch, S., Ciais, P., Wigneron, J.-P., Silva-Junior, C. H. L., Heinrich, V., Vancutsem, C., Achard, F., Bastos, A., Yang, H., Li, X., Albergel, C., Friedlingstein, P., & Aragão, L. E. O. C. (2023). Declining Amazon biomass due to deforestation and subsequent degradation losses exceeding gains. *Global Change Biology, 29*(4), 1106–1118. https://doi.org/10.1111/gcb.16513

Fernández de Gatta Sánchez, D. (2018). La Estrategia estatal de infraestructura verde y de la conectividad y restauración ecológicas: un nuevo instrumento para proteger la biodiversidad. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 81, 57-120.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/interactive/forest-resources-assessment/2020/en/

Foster, P. (2001). The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. *Earth-Science Reviews, 55*(1–2), 73–106. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00056-3

Franke, I. (2011, junio). *Medio ambiente 3. ¿Qué nos dice nuestra biodiversidad sobre cambios climáticos? Algunas implicancias para acciones de conservación*. Aves, Ecología y Medio Ambiente. https://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2011/06/medio-ambiente-3-que-nos-dice-nuestra.html

Franke, I. (2015, septiembre). *Maria Koepcke (1924–1971) IV. 1953–1954: Los bosques de las vertientes occidentales*. Aves, Ecología y Medio Ambiente. https://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2015/09/maria-koepcke-1924-1971-iv-los-bosques.html

Franke, I. (2019a, julio). *Veinte años en los bosques montanos de la vertiente occidental de los Andes peruanos. Notas autobiográficas I. 1977–1984*. Aves, Ecología y Medio Ambiente. https://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2019/07/

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Franke, I. (2019b, agosto). *Veinte años en los bosques montanos de la vertiente occidental de los Andes peruanos. Notas autobiográficas II. 1985–1990*. Aves, Ecología y Medio Ambiente. https://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2019/08/veinte-anos-en-los-bosques-montanos-de.html

Franke, I. (2020, junio). *Veinte años en los bosques montanos de la vertiente occidental de los Andes peruanos. Notas autobiográficas III. 1991–1997*. Aves, Ecología y Medio Ambiente. https://avesecologaymedioambiente.blogspot.com/2020/06/veinte-anos-en-los-bosques-montanos-de.html

Franquesa, M., Adell-Michavila, M., & Vicente-Serrano, S. M. (2025). Long-term vegetation dynamics in Spain's National Park Network: Insights from remote sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment, 197*, 767. https://doi.org/10.1007/s10661-025-14233-w

García, M. (2024). *Desarrollo de una librería para la obtención masiva de imágenes Sentinel y su aplicación en la detección de incendios con Deep Learning* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Educación a Distancia]. https://hdl.handle.net/20.500.14468/24131

García, R. & Zhingre, W. (2025). Análisis de las tendencias del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado y variables climáticas en el Bosque deciduo de tierras bajas del Jama Zapotillo y Herbazal del Páramo de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, *15*(1), 101–110. https://doi.org/10.54753/blc.v15i1.2367

Garreaud, R. D. (2018). A plausible atmospheric trigger for the 2017 coastal El Niño. *International Journal of Climatology, 38*(1), e129–e139. https://doi.org/10.1002/joc.5426

Garreaud, R. D., Vuille, M., & Clement, A. C. (2009). The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 281*(3–4), 180–195. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.07.017

Ghosh, S., Kumar, D. & Kumari, R. (2022). Cloud-based large-scale data retrieval, mapping, and analysis for land monitoring applications with Google Earth Engine (GEE). *Environmental Challenges, 9*. https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100605

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Glenn, E. P., Huete, A. R., Nagler, P. L., & Nelson, S. G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors, 8*(4), 2136–2160. https://doi.org/10.3390/s8042136

Gonzáles, P., Castañeda, E., Huamán, E. R., Aparco, W., & Cano, A. (2024). *Flora and fauna of the Huarimayo forest (Canta, Lima-Peru): A little remnant area with high biodiversity*. Arnaldoa, 31(1), 39–84. https://www.researchgate.net/publication/386563882_Flora_and_fauna_of_the_Huarimayo_forest_Canta_Lima-Peru_A_little_remnant_area_with_high_biodiversity

Guo, M., Li, J., He, H., Xu, J., & Jin, Y. (2018). Detecting global vegetation changes using Mann–Kendall (MK) trend test for 1982–2015 time period. *Chinese Geographical Science*, *28*(6), 907-919. https://doi.org/10.1007/s11769-018-1002-2

Hassen, A., Zander, K. K., Manes, S., & Meragiaw, M. (2023). *Local people's perception of forest ecosystem services, traditional conservation, and management approaches in North Wollo, Ethiopia*. Journal of Environmental Management, 330, 117118. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117118

Hoare, A. (2015). *Tackling illegal logging and the related trade: What progress and where next?* Chatham House. https://www.chathamhouse.org/2015/07/tackling-illegal-logging-and-related-trade-what-progress-and-where-next

Hobbs, R. J., & Norton, D. A. (1996). Restoration ecology framework. *Restoration Ecology*. https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1996.tb00102.x

Holechek, J. L., Pieper, R. D., & Herbel, C. H. (2011). *Range management: principles and practices* (6th ed.). Pearson Education. https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/range-management-principles-and-practices/P200000001257

Horna-Duran, S., Guaiña-Yungán, J., Lara-Vásconez, N., Vaca-Cárdenas, P. & Cushquicullma-Colcha, D. (2022). Tendencias Temporales del Índice Mejorado de la Vegetación (Evi) en tres Ecosistemas de la Subcuenca del Rio Chambo Durante el Periodo 2013 A 2020. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 7*(1), 61. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8331476

Huacani Calsin, W., Meza Peña, N. P., Escobedo Silva, F., Vilca Mansilla, E., Calizaya Llatasi, E. E., Calizaya Llatasi, F. G. & Huanca Checca, F. (2022). Degradación

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Forestal por la Minería, Mediante Google Earth Engine Periodo 2000-2020 – Caso Manu, Madre de Dios. En N. Callaos, J. Horne, E. F. Ruiz-Ledesma, B. Sánchez, A. Tremante (Eds.), Memorias de la Décima Segunda Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética: CICIC 2022, pp. 175-180. International Institute of Informatics and Cybernetics. https://doi.org/10.54808/CICIC2022.01.175

Huaman, W. K. (2021). *Análisis de la pérdida de cobertura vegetal boscosa en el distrito de Namballe, provincia de San Ignacio mediante el uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. https://hdl.handle.net/11537/30001

Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Caixia, L., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., Zheng, Y. & Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment, 202*, 166-176. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.021

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodríguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment, 83*(1–2), 195–213. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2

Humacata, L. (2022). Análisis espacio-temporal de cambios de coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Luján (1990–2010). *Huellas*, *26*(1). https://doi.org/10.19137/huellas-2022-2609

Iannacone, J., Alayo, M., & Sánchez, J. E. (2000). *Biodiversity of the arthropofauna from Zarate Forest, Lima, Peru employing three techniques of census*. Wiñay Yachay, 4(1), 27–46.https://www.researchgate.net/publication/281973291_BIODIVERSITY_OF_THE_ARTHROPOFAUNA_FROM_ZARATE_FOREST_LIMA_PERU_EMPLOYING_THREE_TECHNIQUES_OF_CENSUS

Ibáñez, J., Martínez, J., & Schnabel, S. (2007). Desertification due to overgrazing in a dynamic commercial livestock–grass–soil system. *Ecological Modelling, 205*(3–4), 277–288. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.02.024

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (01 de abril de 2024). *Imágenes satelitales*. https://portal.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes_satelitales_tl

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). (2018). *The IPBES assessment report on land degradation and restoration* (L. Montanarella, R. Scholes, & A. Brainich, Eds.). IPBES Secretariat. https://doi.org/10.5281/zenodo.3237393

Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., & Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment, 112*(10), 3833–3845. https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006

Jimenez-Carlos, L. C., Mamani-Melo, J. S., Terrones-Cortez, V., Hidalgo-Trejo, L. I., Monteverde-Calderon, G., & Terreros-Camac, S. (2024). Flora leñosa en dos áreas de la zona reservada Bosque de Zárate, San Bartolomé, Huarochirí, Lima - Perú. *Revista Forestal del Perú, 39*(1), 56–69. https://doi.org/10.21704/rfp.v39i1.2121

Klimisch, B., Maglione, D., Paredes, P., & Soto, J. (2022). Análisis del Comportamiento de la Vegetación a partir de Índices del Sensor MODIS en Santa Cruz, Argentina. *Informes Científicos Técnicos-UNPA*, *14*(3), 69-90. http://dx.doi.org/10.22305/ict-unpa.v14.n3.895

Koepcke, M. (1954a). *Zaratornis stresemanni nov. gen. nov. spec.*, un cotingido nuevo del Perú. *Publicaciones del Museo de Historia Natural Javier Prado, Serie A: Zoología*, (16). https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/pub_zoologia/Publicaciones%20Zoolog%C3%ADa%20Serie%20A%20N%C2%B0%2016.pdf

Koepcke, M. (1954b). Corte ecológico transversal en los Andes del Perú central con especial consideración de las aves. Parte I: Costa, vertientes occidentales y región altoandina. *Memorias del Museo de Historia Natural Javier Prado*, 3, 54–72. https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/Memorias/Memoria%20N%C2%B0%203.pdf

Kumar, R., Nath, A. J., Nath, A., Sahu, N., & Pandey, R. (2022). Landsat-based multi-decadal spatio-temporal assessment of the vegetation greening and browning trend in the Eastern Indian Himalayan Region. *Remote Sensing Applications:*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Society and Environment, *25*, 100695. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100695

Lamb, D., Erskine, P. D., & Parrotta, J. A. (2005). Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science, 310*(5754), 1628–1632. https://doi.org/10.1126/science.111177

Laurance, W. F., Lovejoy, T. E., Vasconcelos, H. L., Bruna, E. M., Didham, R. K., Stouffer, P. C., Gascon, C., Bierregaard, R. O., Laurance, S. G., & Sampaio, E. (2002). *Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: A 22-year investigation*. Conservation Biology, 16(3), 605–618. https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2002.01025.x

Laurance, W. F., Clements, G. R., Sloan, S., O'Connell, C. S., Mueller, N. D., Goosem, M., Venter, O., Edwards, D. P., Phalan, B., Balmford, A., Van Der Ree, R., & Arrea, I. B. (2014). A global strategy for road building. *Nature, 513*(7517), 229–232. https://doi.org/10.1038/nature13717

Lemesios, I. & Petropoulos, G. P. (2024). Vegetation regeneration dynamics of a natural mediterranean ecosystem following a wildfire exploiting the LANDSAT archive, google earth engine and geospatial analysis techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment, 34.* https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101153

León Fernández, L & Garavito Rincón, L. (2021). Procesamiento de imágenes satelitales. *L'esprit Ingénieux*, *11*(1), 33-49. https://revistas.santototunja.edu.co/index.php/lingenieux/article/view/2332

Ley de Áreas Naturales Protegidas, Ley N.º 26834. (1997). *Diario Oficial El Peruano*. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-26834.pdf

Li, R., Zheng, S., Duan, C., Wang, L., & Zhang, C. (2022). Land cover classification from remote sensing images based on multi-scale fully convolutional network. *Geo-Spatial Information Science*, *25*(2), 278–294. https://doi.org/10.1080/10095020.2021.2017237

Li, Y., Wei, M., Zhou, R., Jin, H., Chen, Y., Hong, C., Duan, Y., & Li, Q. (2025). Identifying priority restoration areas based on ecological security pattern: implications for

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ecological restoration planning. *Ecological Indicators, 174,* 113486. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113486

Liang, J., Chen, C., Song, Y., Sun, W. & Yang, G. (2023). Long-term mapping of land use and cover changes using Landsat images on the Google Earth Engine Cloud Platform in bay area - A case study of Hangzhou Bay, China. *Sustainable Horizons, 7*. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100061

Lu, Y., Yu, Y., Sun, L., et al. (2025). NDVI based vegetation dynamics and responses to climate change and human activities at Xinjiang from 2001 to 2020. *Scientific Reports, 15*, 25848. https://doi.org/10.1038/s41598-025-11677-5

Lucana Cruz, R. T. & Villalobos Quispe, M. (2018). *Mapa de cobertura y uso de la tierra periodo 2015 de la provincia Jose Miguel de Velasco – Santa Cruz.* [Tesis de Grado, Universidad Mayor de San Andrés]. https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18637/TD-2078.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Luo, J., Xie, M., Wu, Q., Luo, J., Gao, Q., Shao, X., & Zhang, Y. (2024). Early Crop Identification Study Based on Sentinel-1/2 Images with Feature Optimization Strategy. *Agriculture*, *14*(7), 990. https://doi.org/10.3390/agriculture14070990

Mamani, J. (2017). Una experiencia de conservación y desarrollo local en el Bosque de Zárate (Huarochirí, Lima) a través del voluntariado y el turismo. *Revista especializada de turismo y temas afines.*

Mamani Gomez, J. A. y Batista, J. A. (2024). Tendencias temporales en la cobertura vegetal de la Cuenca Ramis: generación de índices espectrales mediante Google Earth Engine. *Labor E Engenho*, *18*, e024016. https://doi.org/10.20396/labore.v18i00.8677588

Martínez-Murillo, J.F., Ruiz-Sinoga, J.D., Gabarrón-Galeote, M.A. (2011). Hydrological and erosive effects of overgrazing at patch scale in humid mediterranean rangelands (Serranía de Ronda, South of Spain). *Cuaternario y Geomorfología, 25*(3-4), 19-33. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3844557

Martínez Pérez, J. A. y Pérez Martín, P. S. (2024). Regresión Logística. *Semergen, 50*(1), 102086. https://doi.org/10.1016/j.semerg.2023.102086

Matricardi, E. A. T., Skole, D. L., Costa, O. B., Pedlowski, M. A., Chomentowski, W., & Fernández, J. A. (2020). Long-term forest degradation exceeds deforestation in the

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Brazilian Amazon. *Science, 369*(6509), 1378–1383. https://doi.org/10.1126/science.abb3021

Mavila, M. (2003). Estado de conservación del estrato arbóreo del bosque de Zárate (Huarochirí, Lima) [Título Profesional]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

McGarigal, K., & Cushman, S. A. (2002). Landscape fragmentation. *Ecology*. https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2209:CEOEAT]2.0.CO;2

Meli, P., Holl, K. D., Benayas, J. M. R., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D., & Mateos, D. M. (2017). A global review of past land use, climate, and active vs. passive restoration effects on forest recovery. *PLOS ONE, 12*(2), e0171368. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368

Mendoza, Y., Mejia, L. & Morales, A. (2024). *Identificación de los índices de vegetación y actividad fotosintética para la preservación del monitoreo de páramos en Antioquia.* [Diplomado de profundización para grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia] https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62613

Mendoza Valderrama, C. A. (2025). *Evaluación de la recuperación de la fauna y flora arbórea de la Zona Reservada Bosque de Zárate posterior al retiro de la actividad ganadera* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM. https://hdl.handle.net/20.500.12672/28446

Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., et al. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology, 12*(10), 1969–1976. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x

Militino, A.F., Goyena, H., Pérez-Goya, U. y Ugarte, M.D. (2024). Logistic regression versus XGBoost for detecting burned areas using satellite images. *Environmental and Ecological Statistics, 31*, 57–77. https://doi.org/10.1007/s10651-023-00590-7

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) & Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2019). *Restauración de paisajes en el Perú: Sitios prioritarios y evaluación de oportunidades*. https://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/971/2/SERFOR%202019%20-%20Restauracion%20de%20Paisajes%20en%20el%20Peru.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2001). *Decreto Supremo N.° 038-2001-AG, Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas*. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-ley-areas-naturales-protegidas

Ministerio del Ambiente (2010). *Declaran Zona Reservada Bosque de Zárate mediante Resolución Ministerial N.° 195-2010-MINAM*. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. https://sinia.minam.gob.pe/normas/declaran-zona-reservada-bosque-zarate-huarochiri-lima

Ministerio del Ambiente (2015). *Capítulo 3: Descripción de los tipos de cobertura vegetal*. En *Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva*. https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2674-mapa-nacional-de-cobertura-vegetal-memoria-descriptiva

Ministerio del Ambiente (2016). La conservación de bosques en el Perú (2011 - 2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde. (1ª Ed.). Ministerio del Ambiente. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/conservacion-bosques-peru-2011-2016

Ministerio del Ambiente (2020). *Pérdida total de cobertura vegetal en la costa y sierra*. https://sinia.minam.gob.pe/inea/indicadores/perdida-anual-de-cobertura-vegetal-en-la-costa-y-sierra-2004-2020-hectareas-2/

Ministerio del Ambiente. (2020). *Plataforma de monitoreo de bosques - Geobosques*. Gobierno del Perú. https://www.gob.pe/cn/institucion/minam/pages/966-plataforma-de-monitoreo-de-bosques-geobosques

Ministerio del Ambiente (2022). Procedimiento metodológico para la identificación, categorización y priorización de áreas degradadas de los ecosistemas terrestres. (1ª Ed.). Ministerio del Ambiente. https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/1083

Ministerio del Ambiente (2011). Plan Nacional de Acción Ambiental - PLANAA PERU 2011 - 2021. Lima: MINAM.

Mires Sumarriva, R. (2016). *El bosque de Zárate, una travesía por la Lima que no conoces*. https://www.librosperuanos.com/libros/detalle/17508/El-bosque-de-Zarate.-Una-travesia-por-la-Lima-que-no-conoces

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing. https://openlibrary.org/books/OL3292177M/Soil_erosion_and_conservation

Móstiga, M., Armenteras, D., Vayreda, J., et al. (2024). *Two decades of accelerated deforestation in Peruvian forests: a national and regional analysis (2000–2020)*. Regional Environmental Change, 24, 42. https://doi.org/10.1007/s10113-024-02189-5

Naiman, R. J., Décamps, H., & McClain, M. E. (2005). *Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities*. Elsevier Academic Press. https://www.elsevier.com/books/riparia/naiman/978-0-12-663315-2

Narvaez, J. (2023). *Análisis de la dinámica temporal de la vegetación en zonas impactadas por actividad agrícola, mediante los índices de vegetación evi y ndvi, para el cantón Palora en los años 2000, 2013 y 2022* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/21541

Nellemann, C., & INTERPOL Environmental Crime Programme (Eds.). (2012). *Green carbon, black trade: Illegal logging, tax fraud and laundering in the world's tropical forests. A rapid response assessment*. United Nations Environment Programme (UNEP) & GRID-Arendal. https://www.grida.no/publications/126

Nițu, A., Florea, C., Ivanovici, M., & Racoviteanu, A. (2025). NDVI y más allá: índices de vegetación como características para el reconocimiento y la segmentación de cultivos en datos hiperespectrales. *Sensors*, *25* (12), 3817. https://doi.org/10.3390/s25123817

Niu, X., Zhang, J., Wang, S., Zong, L., Zhou, M., & Zhang, M. (2025). Identification of priority areas for ecological restoration based on ecological security patterns and ecological risks: A case study of the Hefei Metropolitan Area. *Ecological Indicators, 175*, 113590. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113590

Noss, R. F., Nielsen, S. E., & Vance-Borland, K. (2009). Prioritizing ecosystems, species, and sites for restoration. En A. Moilanen, K. A. Wilson, & H. P. Possingham (Eds.), *Spatial conservation prioritization: Quantitative methods and computational tools* (pp. 158–171). Oxford University Press.

Ogungbuyi, M. G., Guerschman, J., Fischer, A. M., Mohammed, C., Crabbe, R. A., & Harrison, M. T. (2025). Using vegetation indices from nanosatellites for timely

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

pasture biomass *Total Environment Advances, 15*, 200130. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100010

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment, 148*, 42–57. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015

Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. https://hdl.handle.net/11537/25452

Ontel, I., Cheval, S., Irimescu, A., Boldeanu, G., Amihaesei, V.-A., Mihailescu, D., Nertan, A., Angearu, C.-V., & Craciunescu, V. (2023). Assessing the Recent Trends of Land Degradation and Desertification in Romania Using Remote Sensing Indicators. *Remote Sensing*, *15*(19), 4842. https://doi.org/10.3390/rs15194842

Pabón-Caicedo, J. D., Arias, P. A., Carril, A. F., Espinoza, J. C., Fita Borrel, L., Goubanova, K., Lavado-Casimiro, W., Masiokas, M., Solman, S., & Villalba, R. (2020). *Observed and projected hydroclimate changes in the Andes*. *Frontiers in Earth Science, 8*, 61. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00061

Pamo-Sedano, J., Oscco-Coa, C., 2022: Análisis espacio temporal del bofedal de la comunidad de Ancomarca (Tacna - Perú) durante el período 1990 – 2021, con técnicas de teledetección. *Recibya, 1,* 43-53, https://doi.org/10.33326/29585309.2022.1.1587

Papanastasis, V. (1993). Legal status of land tenure and use and its implication for open landscapes of western Crete. *Landscape and Urban Planning, 24*(1–4), 273–277. https://doi.org/10.1016/0169-2046(93)90106-N

Peñuelas, J., Rutishauser, T., & Filella, I. (2009). Phenology feedbacks on climate change. *Science, 324*(5929), 887–888. https://doi.org/10.1126/science.1173004

Perez-Romero, J., Mesas Carrascosa, J. & Navarro Cerrillo, R. (2024). *Capítulo 9: Google Earth Engine aplicado a ciencias forestales* [Archivo PDF]. https://mastergeoforest.es/wp-content/uploads/2022/11/Libro-geoforest-Cap.-9-Google-earth-engine.pdf

Pérez-Rubio, I., Flores, D., Vargas, C., Mende, A. y Jiménez, F. (2021). Análisis comparativo de susceptibilidad de erosión y evaluación de incertidumbre en la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

subcuenca del Río Claro, Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales, 55*(1), 271-293. https://doi.org/10.15359/rca.55-1.13

Perilla, G.A. & Mas, J. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas,* (101). https://doi.org/10.14350/rig.59929

Posite, V. R., Ahana, B. S., Abdelbaki, C., Saber, M., Kantoush, S., Khaldoon, M., Guadie, A., & Kumar, N. (2025). Decoding vegetation dynamics in high-altitude tropical ecosystems: A spatio-temporal assessment using multi-index and biophysical remote sensing products (2002–2024). *Earth Systems and Environment*. https://doi.org/10.1007/s41748-025-00750-8

Poveda, G., Espinoza, J. C., Zuluaga, M. D., Solman, S. A., Garreaud, R., & van Oevelen, P. J. (2020). *High Impact Weather Events in the Andes*. Frontiers in Earth Science, 8, 162. https://doi.org/10.3389/feart.2020.00162

Poveda, G., Jaramillo, A., Gil, M. M., Quiceno, N., & Mantilla, R. (2001). Seasonality in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research, 37*(8), 2169–2178. https://doi.org/10.1029/2000WR900395

Pro Naturaleza. (2004). *Las áreas de conservación privada en el Perú: Un camino para involucrarse en la conservación de la naturaleza*. Pro Naturaleza. https://catalogobiam.minam.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=10309

Qfield (5 de junio de 2023). *QField.* https://qfield.org/

QGIS (1 de abril de 2024). *Descarga QGIS para tu plataforma.* https://qgis.org/es/site/forusers/download.html

Qin, Y., Xiao, X., Wigneron, J.-P., Ciais, P., Brandt, M., Fan, L., et al. (2021). Carbon loss from forest degradation exceeds that from deforestation in the Brazilian Amazon. *Nature Climate Change, 11*(5), 442–448. https://doi.org/10.1038/s41558-021-01026-5

Ramirez, J., Jansen, P., & Poorter, L. (2018). Effects of wild ungulates on the regeneration, structure and functioning of temperate forests: A semi-quantitative review. *Forest Ecology and Management*, *424*, 406–419. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.016

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas, Decreto Supremo N.º 038-2001-AG. (2001). *Diario Oficial El Peruano*. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/258.pdf

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *RUSLE handbook*. USDA. https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf

Resolución de Dirección Ejecutiva N°083 de 2018 [Ministerio de Agricultura y Riego]. LINEAMIENTOS PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS FORESTALES Y OTROS ECOSISTEMAS DE VEGETACIÓN SILVESTRE. 27 de abril de 2018.

Richardson, A. D., Keenan, T. F., Migliavacca, M., Ryu, Y., Sonnentag, O., & Toomey, M. (2013). Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology, 169*, 156–173.https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012

Ritter, A., Regalado, C. M., Aschan, G., & Gómez, L. A. (2005). *Contribución hídrica de la captación de niebla al balance de un bosque de laurisilva en el Parque Nacional de Garajonay* (pp. 351–358). En J. Samper Calvete & A. Paz González (Eds.), *VII Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada del Suelo*. Universidade da Coruña. https://abe.ufl.edu/faculty/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v7/c351-358.pdf

Rodríguez-Moreno, V. M. & Bullock, S. H. (2014). Vegetation response to hydrologic and geomorphic factors in an arid region of the Baja California Peninsula. *Environmental Monitoring and Assessment, 186*, 1009–1021. https://doi.org/10.1007/s10661-013-3435-5

Roman, M.G., Gangitano, D., Figueroa, A., Solano, J., Anabalón, L., Houston, R. (2020). Use of Eucalyptus DNA profiling in a case of illegal logging. *Science & Justice, 60* (6). https://doi.org/10.1016/j.scijus.2020.09.005

Romero, E. & Espinosa, S. (2022). *Priorización de ecosistemas estratégicos y áreas de importancia ecológica en el departamento del Tolima a través de modelos SIG* [Tesis de Grado, Universidad de Manizales]. https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/5963

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Roque, R. (2022). Tendencia del NDVI en el Área de Conservación Regional Angostura Faical de Tumbes, Perú, 1999-2019. *Manglar*, *19*(3), 233-237. https://doi.org/10.17268/manglar.2022.029

Saire, V., Vela, M., Aragon-Navarrete, R., Ulloa-Gallardo, N. & Holgado Apaza, L. (2024). Detección de Deforestación por Actividades Mineras y Agrícolas Mediante Redes Neuronales Convolucionales. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E70), 586-602. https://www.proquest.com/openview/2af9d59814c80a5f624a751885144c02/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision-recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLOS ONE, 10*(3), e0118432. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432

Samamé Farfán, M. del C. (2005). *Composición y variación estacional en la dieta de las palomas (Aves: Columbidae) del bosque de Zárate, Lima y alcances sobre la dispersión de semillas* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/821

Sanchez Rodriguez, E., Torres Crespo, M. Á., Fernández-Palacios Carmona, A., Aguilar Alba, M., Pino Serrato, I. L., & Granado Ruiz, L. (2000). Comparación del NDVI con el PVI y el SAVI como indicadores para la asignación de modelos de combustible para la estimación del riesgo de incendios en Andalucía. *Tecnologías geográficas para el desarrollo sostenible: Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativo, SIG y Teledetección,* 164-174. http://hdl.handle.net/11441/30498

Sánchez-Romero, R., Balvanera, P., García-Barrios, L. & Mora, F. (2025). Impacts of silvopastoral management intensity and forest age on vegetation and soils of dry tropical forests. *Agroforest Syst,* 99, 220. https://doi.org/10.1007/s10457-025-01334-1

Saxena, S. (2025). Spatio-temporal assessment of dry and wet spells and vegetation health in Delhi, India: An integrated approach using SPI and MODIS derived NDVI. *International Journal of Agriculture and Environmental Research, 11*(2), 487-509. https://doi.org/10.51193/IJAER.2025.11212

Segura, H., Espinoza, J. C., Junquas, C., Lebel, T., Vuille, M., & Garreaud, R. (2020). *Recent changes in the precipitation-driving processes over the southern tropical*

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Andes/western Amazon. Climate Dynamics, 54(5–6), 2613–2631. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05132-6

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2016). *Caracterización climática del evento El Niño 2015–2016 y sus impactos en el territorio peruano*. Ministerio del Ambiente. https://www.senamhi.gob.pe/?p=informes-tecnicos

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (1 de enero de 2019). *Zona Reservada Bosques de Zárate.* https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1945687-zona-reservada-bosques-de-zarate

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (2025). *Ecorregión terrestre*. Recuperado el 23 de noviembre de 2025 de https://biodiversidadanp.sernanp.gob.pe/?ecorregion-paisaje-t=ecorregion-terrestre&27

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2025). *Descarga de datos*. Recuperado el 3 de noviembre de 2025 de https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2025). *Estaciones*. Recuperado el 3 de noviembre de 2025 de https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones

She, X., Zhang, L., Cen, Y., Wu, T., Huang, C., & Baig, M. H. A. (2015). Comparison of the Continuity of Vegetation Indices Derived from Landsat 8 OLI and Landsat 7 ETM+ Data among Different Vegetation Types. *Remote Sensing*, *7*(10), 13485-13506. https://doi.org/10.3390/rs71013485

Shen, X., Chen, M., Li, X., Gao, S., Yang, Q., Wen, Y. & Sun, Q. (2024). Advancing climate resilience through a geo-design framework: strengthening urban and community forestry for sustainable environmental design. *Journal of Forestry Research,* 35, 117. https://doi.org/10.1007/s11676-024-01772-0

Sheikh, P. A. (2008). *Illegal logging: Background and issues* (Order Code RL33932) [Archivo PDF]. Congressional Research Service. https://nationalaglawcenter.org/wp-content/uploads/assets/crs/RL33932.pdf

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Shi, F., Gao, X., Li, R., & Zhang, H. (2024). Ensemble Learning for the Land Cover Classification of Loess Hills in the Eastern Qinghai–Tibet Plateau Using GF-7 Multitemporal Imagery. *Remote Sensing*, *16*(14), 2556. https://doi.org/10.3390/rs16142556

Siddhartho, S. P., & Mahmood, T. H. (2025). Long-term Landsat time series reveals mangrove vegetation fluctuations and drivers in the Sundarbans. *Ecological Indicators, 181*, 114401. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114401

Stehman, S. V. (2014). Estimating area and map accuracy for stratified random sampling when the strata are different from the map classes. *International Journal of Remote Sensing,* *35*(13), 4923–4939. https://doi.org/10.1080/01431161.2014.930207

Still, C. J., Foster, P. N., & Schneider, S. H. (1999). Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forests. *Nature,* *398*, 608–610. https://doi.org/10.1038/19293

Smith, J., & Schwartz, J. (2015). *La deforestación en el Perú* [Archivo PDF]. https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/la_deforestacion_en_el_peru.pdf

Somvanshi, S. S., & Kumari, M. (2020). Comparative analysis of different vegetation indices with respect to atmospheric particulate pollution using sentinel data. *Applied Computing and Geosciences*, *7*, 100032. https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100032

Suárez, A. S., Jiménez, A. F., Castro-Franco, M., & Cruz-Roa, A. (2017). Clasificación y mapeo automático de coberturas del suelo en imágenes satelitales utilizando Redes Neuronales Convolucionales. *Orinoquia*, 21, 64-75. https://doi.org/10.22579/20112629.432

Tarcetano, D. C. (2023). *Uso combinado de técnicas de campo y teledetección para el análisis de vegetación asociada a embalses artificiales*. Universidad Nacional de Luján. https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/2102

Taylor, C., Evans, M. J., & Lindenmayer, D. (2025). A significant increase in forest regeneration failure following logging is driven by climatic and management factors. *Journal of Environmental Management*, 381, 125169. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.125169

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Teague, W. R., & Kreuter, U. P. (2020). Managing grazing to restore soil health, ecosystem function, and ecosystem services. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 534187. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187

Thompson, S. T., & Magrath, W. B. (2021). *Preventing illegal logging*. Forest Policy and Economics, 128, 102479. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102479

Tinoco, P. (2023). *Identificación de la degradación de los ecosistemas terrestres del Perú* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Federico Villarreal]. https://hdl.handle.net/20.500.13084/8112

Toledo, T. (2009). El bosque de niebla. *Revista Forestal Mexicana, 83,* 1–12. https://www.uv.mx/personal/asuarez/files/2011/01/Bosque-de-niebla2.pdf

Tovar, C., Sánchez Infantas, E., & Teixeira Roth, V. (2018). Plant community dynamics of lomas fog oasis of Central Peru after the extreme precipitation caused by the 1997-98 El Niño event. *PloS one*, *13*(1), e0190572. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190572

Toy, T. J., Foster, G. R., & Renard, K. G. (2002). *Soil erosion: Processes, prediction, measurement, and control*. Wiley. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470179092

Turner, M. G. (1989). Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology*. https://doi.org/10.1146/annurev.es.20.110189.001131

Tyukavina, A., Stehman, S. V., Foody, G. M., Bontemps, S., See, L., Olofsson, P., Tsendbazar, N. E., Radoux, J., Komarova, A., Serre, B. M., Song, X. P., d'Andrimont, R., Koren, G., Potapov, P., Bullock, E. L., Campbell, P., de Bruin, S., Defourny, P., Friedl, M. A., Fritz, S., Hansen, M. C., Herold, M., Lamarche, C., Lesiv, M., Mané, L., Meroni, M., Nickeson, J. E., Pelletier, F., Pickens, A., Reiche, J., Schepaschenko, D., Tarrio, K., Verhegghen, A., Woodcock, C., & Xiao, X. (2025). *Land cover and change map accuracy assessment and area estimation good practices protocol* (Version 0.1). In A. Tyukavina, S. V. Stehman, G. M. Foody, S. Bontemps, A. Komarova, N. E. Tsendbazar, & J. E. Nickeson (Eds.), *Good practices for satellite derived land product validation* (p. 187). Land Product Validation Subgroup (WGCV/CEOS). https://doi.org/10.5067/doc/ceoswgcv/lpv/lc.001

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Urrego, D. H., Bush, M. B., & Silman, M. R. (2022). *Responses of Andean forests to climate variability and environmental change*. Journal of Vegetation Science, 33(2), e13124. https://doi.org/10.1111/jvs.13124

Uvidia, K. (2020). *Análisis de la dinámica espacio temporal del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y su relación con patrones climáticos globales en el páramo ecuatorial entre el año 2001 y 2018* [Tesis, Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21251

Valencia, N. (1992). Los bosques nublados secos de la vertiente occidental de los Andes del Perú. En K. R. Young & N. Valencia (Eds.), *Biogeografía, ecología y conservación del bosque montano en el Perú* (pp. 155–170). *Memorias del Museo de Historia Natural*, 21. https://museohn.unmsm.edu.pe/docs/Memorias/Memoria%20N%C2%B0%2021.pdf

Valle, G. (2022). *Generador de código G con Python* [Proyecto de Graduación, Universidad Tecnológica Centroamericana]. https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/12526

Vera, E., Cruz, C., Barboza, E., Salazar, W., Canta, J., Salazar, E., Vásquez, H. V., & Arbizu, C. I. (2024). *Change of vegetation cover and land use of the Pómac Forest Historical Sanctuary in northern Peru*. International Journal of Environmental Science and Technology. https://doi.org/10.1007/s13762-024-05597-6

Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., Soruco, A., Villacis, M., Yarlequé, C., Elison Timm, O., & Condom, T. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth-Science Reviews, 176*, 195–213. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.019

Winkel, G., Lovrić, M., Muys, B., Katila, P., Lundhede, T., Pecurul, M., Pettenella, D., Pipart, N., Plieninger, T., Prokofieva, I., Parra, C., Pülzl, H., Roitsch, D., Roux, J.-L., Thorsen, B. J., Tyrväinen, L., Torralba, M., Vacik, H., Weiss, G., & Wunder, S. (2022). *Governing Europe's forests for multiple ecosystem services: Opportunities, challenges, and policy options*. Forest Policy and Economics, 145, 102849. https://doi.org/10.1016/j.forpol.2022.102849

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Willington, E. A., Nolasco, M., & Bocco, M. (2013). Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina): comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat. *Congreso Argentino de AgroInformática (CAI)-JAIIO,* 42, 207-216. http://hdl.handle.net/11086/17028

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *USLE handbook*. USDA. https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF

World Bank. (2019). *Illegal logging, fishing, and wildlife trade: The costs and how to combat it*. World Bank Group. https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/1462c00a-6ef5-5964-9805-f31a9b1463ab

World Meteorological Organization (2022). *El episodio triple de La Niña continúa y prolonga la sequía y las inundaciones*. WMO. https://wmo.int/es/news/media-centre/el-episodio-triple-de-la-nina-continua-y-prolonga-la-sequia-y-las-inundaciones

World Meteorological Organization (2023). *Statement on the State of the Global Climate in 2023* (documenting the 2023–2024 El Niño). WMO.

Xie, S., Liu, L., Zhang, X., Yang, J., Chen, X., & Gao, Y. (2019). Mapeo automático de la cobertura terrestre mediante datos de series temporales Landsat basado en Google Earth Engine. *Remote Sensing*, *11* (24), 3023. https://doi.org/10.3390/rs11243023

Xie, G. & Niculescu, S. (2021). Mapping and Monitoring of Land Cover/Land Use (LCLU) Changes in the Crozon Peninsula (Brittany, France) from 2007 to 2018 by Machine Learning Algorithms (Support Vector Machine, Random Forest, and Convolutional Neural Network) and by Post-classification Comparison (PCC). *Remote Sensing*, *13*(19). https://doi.org/10.3390/rs13193899

Yan, K., Gao, S., Yan, G., Ma, X., Chen, X., Zhu, P., Li, J., Gao, S., Gastellu-Etchegorry, J.-P., Myneni, R. B., & Wang, Q. (2025). A global systematic review of the remote sensing vegetation indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 139*, 104560. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104560

Yang, J., Yan, D., Yu, Z., Wu, Z., Wang, H., Liu, W., Liu, S. &Yuan, Z. (2024). NDVI variations of different terrestrial ecosystems and their response to major driving factors on

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

two side regions of the Hu-Line. *Ecological Indicators,* 159. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111667

Young, K. R., & León, B. (2007). *Tree-line changes along the Andes: Implications of spatial patterns and dynamics*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 362(1478), 263–272. https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1986

Young, N. E., Anderson, R. S., Chignell, S. M., Vorster, A. G., Lawrence, R., & Evangelista, P. H. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, *98*(4), 920-932. https://doi.org/10.1002/ecy.1730

Zabaleta Santisteban, J. A., Salas López, R., Rojas-Briceño, N. B., Gómez Fernández, D., Medina Medina, A. J., Tuesta Trauco, K. M., Rivera Fernandez, A. S., Lévano Crisóstomo, J., Oliva-Cruz, M. y Silva-López, J. O. (2024). Optimizing Landfill Site Selection Using Fuzzy-AHP and GIS for Sustainable Urban Planning. *Civil Engineering Journal*, *10*(6), 1698–1719. https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-06-01

Zaki, A., Buchori, I., Pangi, P., Sejati, A. W. & Liu, Y. (2023). Google Earth Engine for improved spatial planning in agricultural and forested lands: A method for projecting future ecological quality. *Remote Sensing Applications: Society and Environment,* 32. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101078

Zambrano, S. A. (2010). *Distribución y abundancia de las aves del Bosque de Zárate, 2004 – 2005* [Tesis, Universidad Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/12508

Zamorano Elgueta, C. (2014). *Definición de áreas prioritarias para la restauración forestal en la Cordillera de la Costa de la Región de Los Ríos, Chile* [Tesis de doctorado, Universidad de Alcalá]. http://hdl.handle.net/10017/22516

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

XVIII. Abreviaturas

ZRBZ: Zona Reservada Bosque de Zárate

GEE: Google Earth Engine

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo

EVI: Índice de Vegetación Mejorado

SIG: Sistema de Información Geográfica

MINAM: Ministerio del Ambiente

SERNANP: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

IGN: Instituto Geográfico Nacional

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

COFOPRI: Organismo de Formalización de la Propiedad Informal

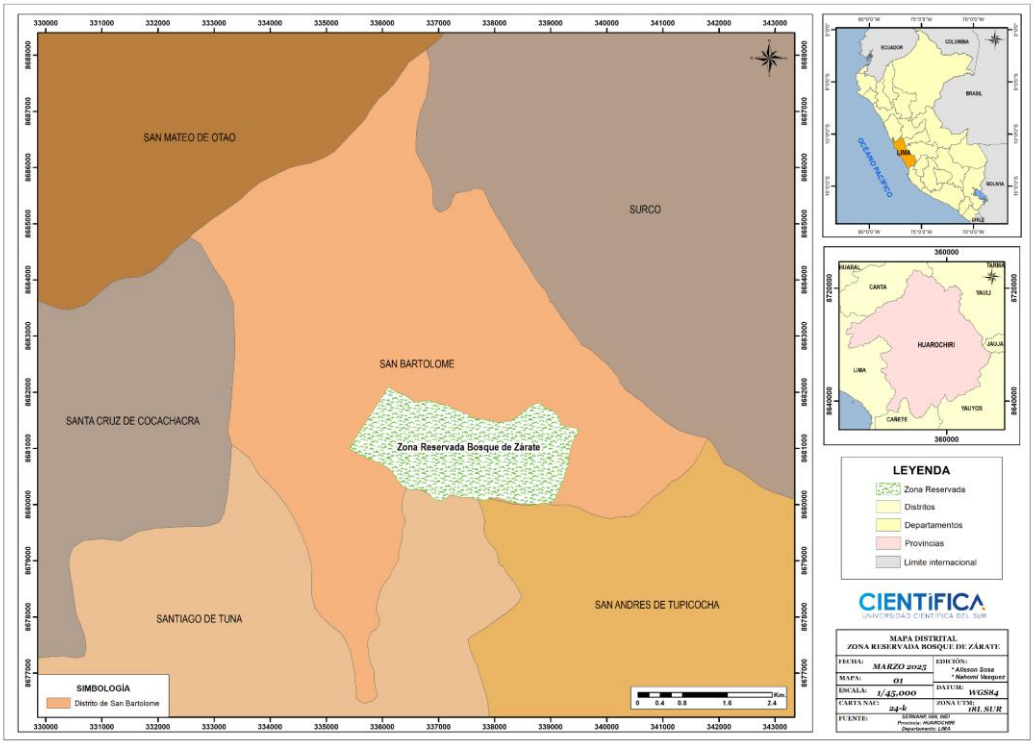
ANA: Autoridad Nacional del Agua

VSCode: Visual Studio Code

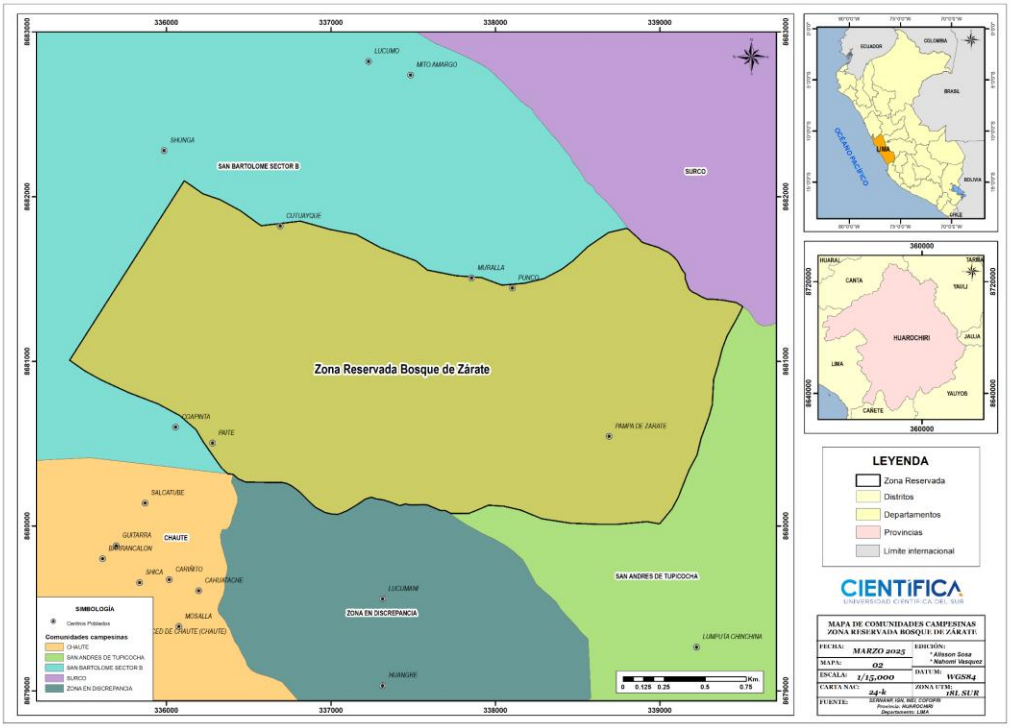
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

XIX. Anexos

Anexo 1. Mapa Distrital de la ZRBZ

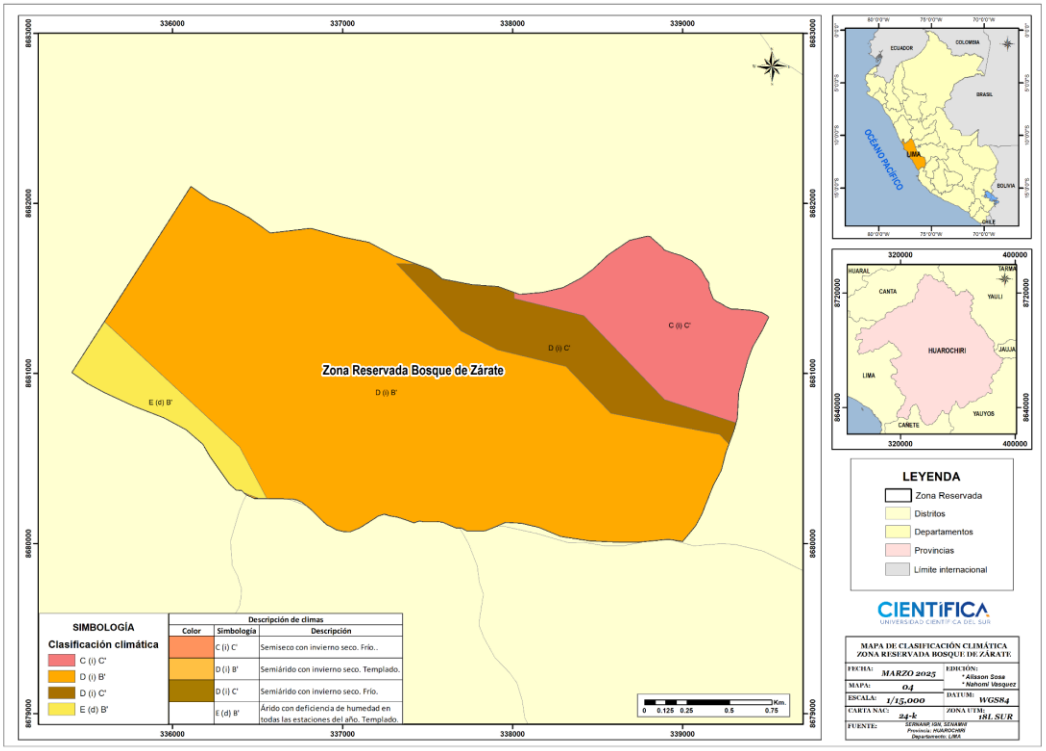


Anexo 2. Mapa de Comunidades Campesinas de la ZRBZ

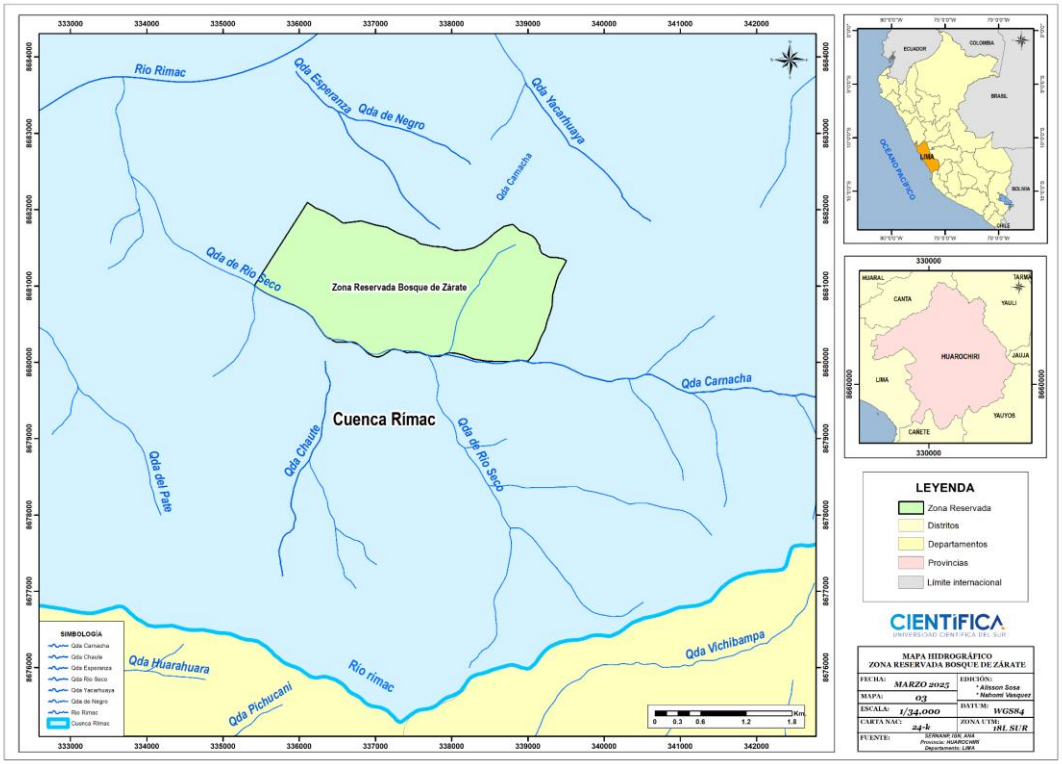


Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 3. Mapa de Clasificación Climática de la ZRBZ

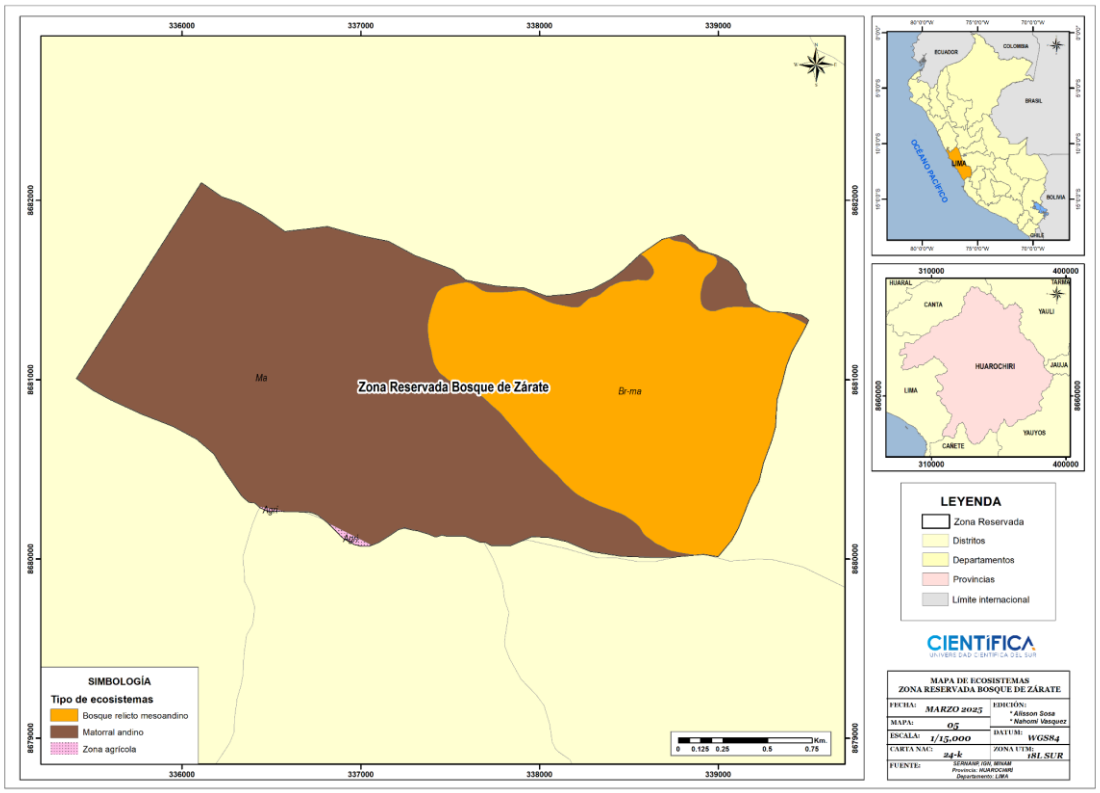


Anexo 4. Mapa Hidrográfico de la ZRBZ

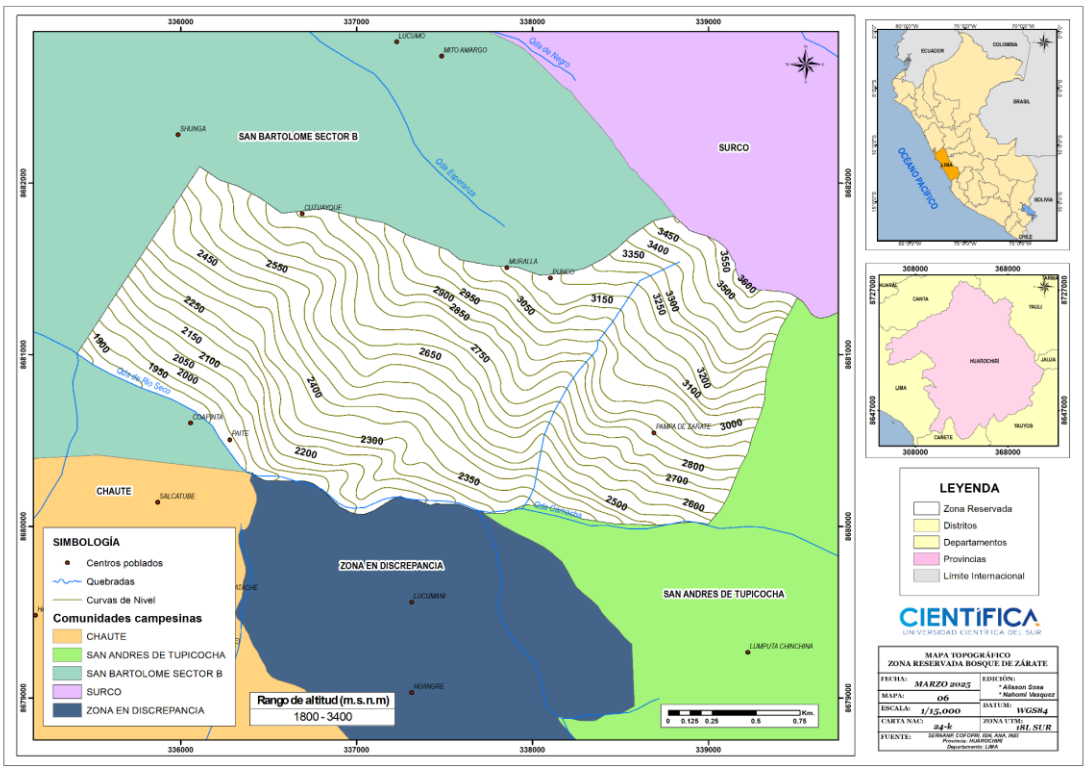


Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 5. Mapa de Ecosistemas de la ZRBZ

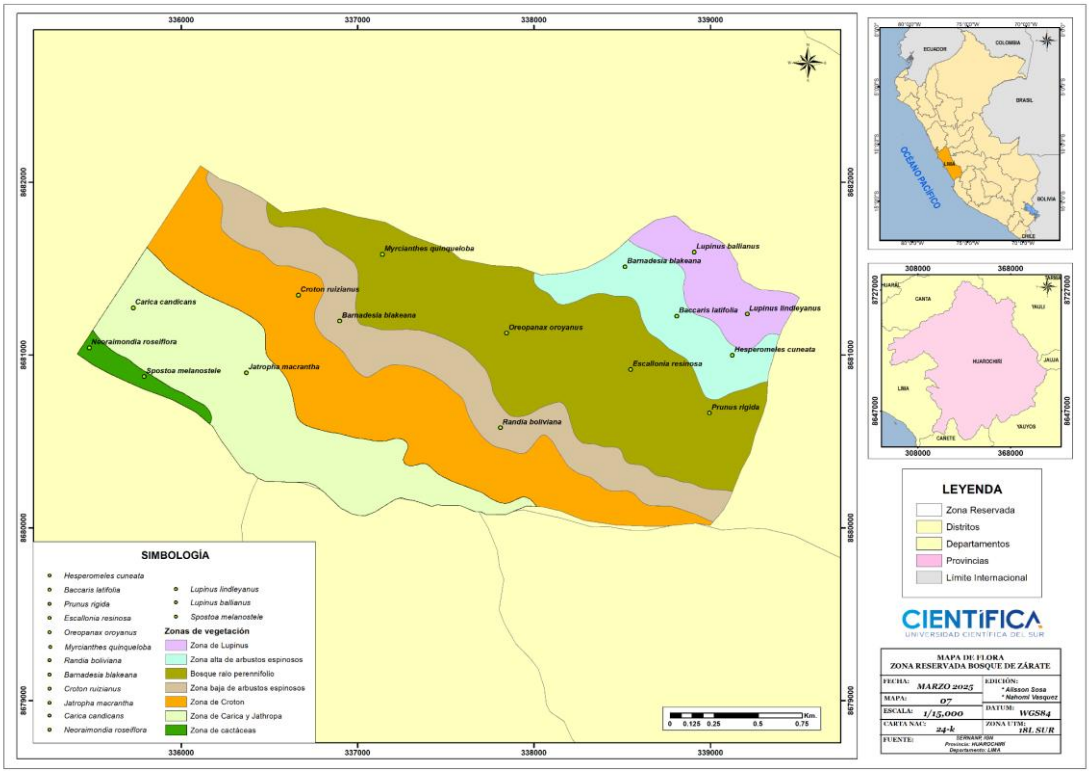


Anexo 6. Mapa Topográfico de la ZRBZ

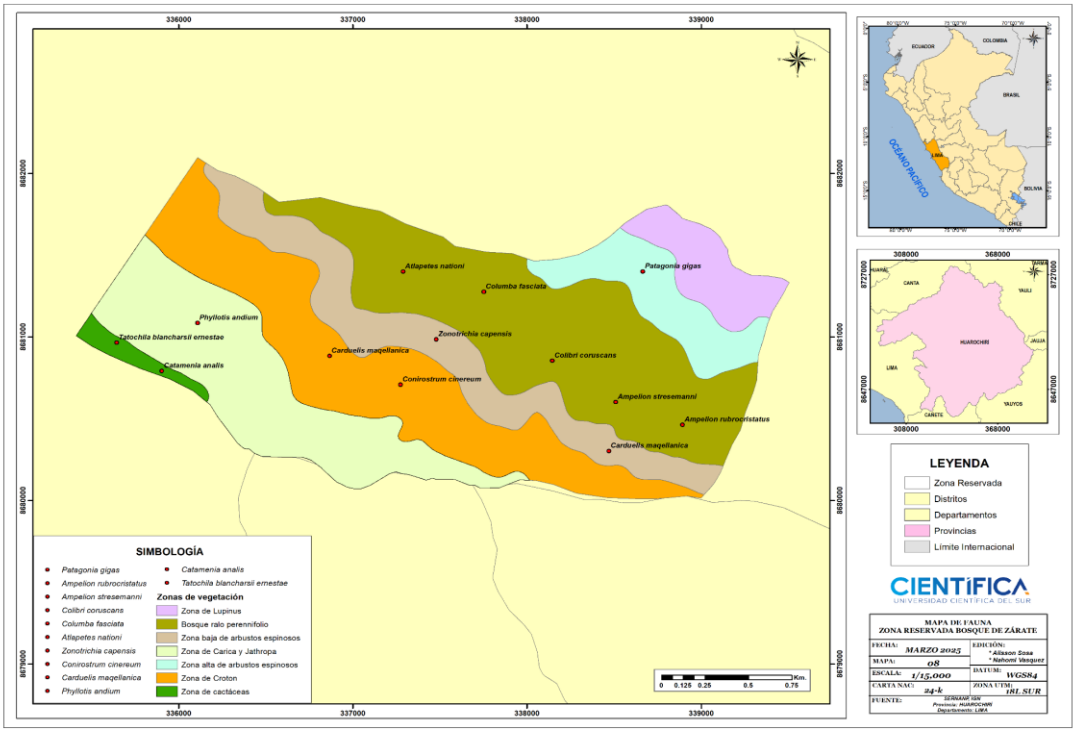


Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 7. Mapa de Flora de la ZRBZ



Anexo 8. Mapa de Fauna de la ZRBZ



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 9. Autorización emitida por el SERNANP para el desarrollo de investigaciones al interior de la Zona Reservada Bosque de Zárate

PERÚ | Ministerio del Ambiente | Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado | Dirección de Gestión Territorial de Áreas Naturales Protegidas | REFUGIO DE V SILVESTRE LO DE VILLA

Firmado digitalmente por UBILLUS TOLENTINO Omar Antonio FAU 20478053178 soft
Cargo: Jefe De Anp - Refugio De Vida Silvestre Los Pantanos De
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10.10.2025 16:52:59 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Chorrillos, 10 de Octubre del 2025

CARTA N° 000085-2025-SERNANP/RVSPV

Señor (a)
SOSA ROMERO ALISSON GRECIA
DNI : 74129027
100036247@cientifica.edu.pe
JR CELENDIN 285 URB. MESA REDONDA, SAN MARTIN DE PORRES
LIMA
Presente. –

Asunto : Autorización para el desarrollo de investigaciones al interior de las áreas naturales protegidas de administración nacional: ZR Bosque de Zarate.

Referencia : PROVEIDO 000008-2025-SERNANP/ZRBZR (9OCT2025)

Me dirijo a usted, para saludarla muy cordialmente y al mismo tiempo remitir la RESOLUCIÓN DEL JEFE DE LA ZONA RESERVADA BOSQUE DE ZARATE N° 02 - 2025-SERNANP-JEF, la cual puede ser descargada en el sgte link:

https://archivosgd.sernanp.gob.pe/sgd-anexos/download/eed0ddf6-cc9d-43a4-92b8-fd646bd0df73

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,

(Firma y Sello)
OMAR ANTONIO UBILLUS TOLENTINO
JEFE (e)DE ANP - REFUGIO DE VIDA SILVESTRE LOS PANTANOS DE VILLA

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: **https://sgd.sernanp.gob.pe/verificadoc-web/inicio.do** e ingresando la siguiente clave: **4ZTF5RD**

Ponle PUNCHE y ganamos todos PERÚ

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 10. Cuestionario de entrevista

FECHA:_____ HORA:_____

LUGAR:_____

ENTREVISTADORA:_____

ENTREVISTADO(A):_____

PREGUNTAS:

1. ¿Considera que el Bosque ha perdido vegetación a lo largo de los años? ¿En qué años considera o conoce que ha habido una mayor deforestación?
2. ¿Cuáles consideraría las principales causas de la deforestación?
3. ¿Qué tipo de coberturas y/o especies vegetales conoce de la ZRBZ?
4. Siendo los servicios ecosistémicos beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, como agua, alimento, medicinas y materias primas. ¿Qué beneficio o servicio que brinda la ZRBZ ha sido afectado?
5. ¿Se ha implementado algún proyecto de reforestación o restauración en la ZRBZ?¿Conoce a los actores involucrados en esta iniciativa?
6. ¿Por qué cree que las instituciones del estado y/o privadas están tomando iniciativas de conservación en la ZRBZ?
7. ¿Cree que aún se necesitan tomar acciones sobre la ZRBZ?

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 11. Consentimiento Informado para entrevista

Estimado/a,

Le pedimos su apoyo en la realización de una investigación conducida por Nahomi Alejandra Vasquez Santillan y Alisson Grecia Sosa Romero, bachilleres de la carrera de Ingeniería Ambiental del Departamento Académico de Ciencias de la Vida y la Salud de la Universidad Científica del Sur, asesoradas por el Ing. Claude Armando Melendez Chota. La investigación, denominada ***"Evaluación e identificación de áreas degradadas para restauración en la Zona Reservada Bosque de Zárate (Huarochirí – Lima)",*** tiene como propósito evaluar el cambio de la cobertura vegetal de la Zona Reservada Bosque de Zárate e identificar áreas degradadas prioritarias para restauración.

Se le ha contactado a usted en calidad de _____ de la Comunidad Campesina de San Bartolomé. Si usted accede a participar en esta entrevista, se le solicitará responder algunas preguntas sobre el tema antes mencionado, lo que tomará aproximadamente entre 10 y 15 minutos. La información obtenida será únicamente utilizada para la elaboración de una tesis.

Su participación en la investigación es completamente voluntaria. Usted puede interrumpir la misma en cualquier momento, sin que ello genere ningún perjuicio. Se considera que este estudio no implica ningún riesgo para usted. Además, si tuviera alguna consulta sobre la investigación, puede formularla cuando lo estime conveniente, a fin de clarificarla oportunamente.

Al concluir la investigación, en el correo electrónico o medio de contacto que le solicitaremos, le enviaremos los resultados del estudio realizado, si así usted lo desea. En caso de tener alguna duda sobre la investigación, puede comunicarse al siguiente

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

correo electrónico: 100036344@cientifica.edu.pe , 100036247@cientifica.edu.pe o al número 921688615 (contacto: Nahomi Alejandra Vasquez Santillan).

Yo, _____, doy mi consentimiento para participar en el estudio y autorizo que mi información se utilice en este. Se me ha explicado y he comprendido la naturaleza y los objetivos de la investigación presentada. Se me ha aclarado que mi participación en la investigación no me ocasionará ningún tipo de perjuicio. Firmo este documento como prueba de mi aceptación voluntaria habiendo sido antes informado sobre la finalidad de la entrevista.

Asimismo, estoy de acuerdo que mi identidad sea tratada de manera:

	Declarada, es decir, que en la tesis se hará referencia expresa de mi nombre.
	Confidencial, es decir, que en la tesis no se hará ninguna referencia expresa de mi nombre y las tesistas utilizarán un código de identificación o pseudónimo.

Finalmente, entiendo que recibiré una copia de este consentimiento informado.

_____

Nombre completo del (de la) participante

_____

Firma y DNI

_____

Fecha

_____

Correo electrónico del (de la) participante

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

_____

Nombre de la Investigadora

_____

Firma y DNI

_____

Fecha

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 12. Registro fotográfico de visitas de campo

Visita 1 – Entrevista al vicepresidente de la comunidad campesina San Bartolomé (21/08/2025)

Anexo 12. Consentimiento Informado para entrevista

Estimado/a,

Le pedimos su apoyo en la realización de una investigación conducida por _____, bachiller de la carrera de _____ del Departamento Académico de _____ de la Universidad Científica del Sur, asesorada por _____. La investigación, denominada _____, tiene como propósito _____.

Se le ha contactado a usted en calidad de _____.

Si usted accede a participar en esta entrevista, se le solicitará responder algunas preguntas sobre el tema antes mencionado, lo que tomará aproximadamente entre 15 y 20 minutos. La información obtenida será únicamente utilizada para la elaboración de una tesis.

Su participación en la investigación es completamente voluntaria. Usted puede interrumpir la misma en cualquier momento, sin que ello genere ningún perjuicio. Se considera que este estudio no implica ningún riesgo para usted. Además, si tuviera alguna consulta sobre la investigación, puede formularla cuando lo estime conveniente, a fin de clarificarla oportunamente.

Al concluir la investigación, en el correo electrónico o medio de contacto que le solicitaremos, le enviaremos los resultados del estudio realizado, si así usted lo desea.

En caso de tener alguna duda sobre la investigación, puede comunicarse al siguiente correo electrónico _____ o al número _____.

Yo, _____, doy mi consentimiento para participar en el estudio y autorizo que mi información se utilice en este. Se me ha explicado y he comprendido la naturaleza y los objetivos de la investigación presentada. Se me ha aclarado que mi participación en la investigación no me ocasionará ningún tipo de perjuicio. Firmo este documento como prueba de mi aceptación voluntaria habiendo sido antes informado sobre la finalidad de la entrevista.

Asimismo, estoy de acuerdo que mi identidad sea tratada de manera:

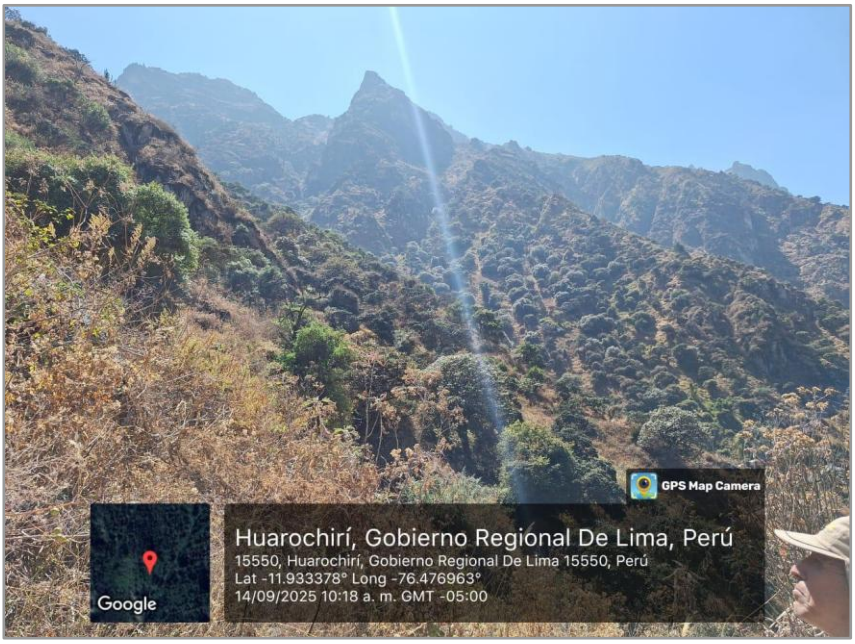
	Declarada, es decir, que en la tesis se hará referencia expresa de mi nombre.
	Confidencial, es decir, que en la tesis no se hará ninguna referencia expresa de mi nombre y las tesistas utilizarán un código de identificación o pseudónimo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Finalmente, entiendo que recibiré una copia de este consentimiento informado.

Nombre completo del (de la) participante
Firma y DNI
Fecha
Correo electrónico del (de la) participante:
Nombre de la Investigadora
Firma y DNI:
Fecha

Visita 2 – Recorrido al bosque (14/09/2025)





Autoras de la investigación durante el recorrido de campo en la Zona Reservada Bosque de Zárate.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 13. Resolución de aprobación del proyecto de tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 014 -2025-DACIA-DAFCA-U. CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima, 20 de enero del 2025

VISTO:
El informe de revisión académica independiente y la aprobación de un Comité de Ética con **N° de Constancia: 013-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2025** del proyecto de tesis titulado: **EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS PARA RESTAURACIÓN EN LA ZONA RESERVADA BOSQUE DE ZÁRATE (HUAROCHIRÍ – LIMA)**, presentado por:

- **ALISSON GRECIA SOSA ROMERO**
- **NAHOMI ALEJANDRA VASQUEZ SANTILLÁN**

CONSIDERANDO:
Que, de acuerdo con el Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el título profesional de **Ingeniero(a) Ambiental** en la Facultad de Ciencias Ambientales, según la modalidad elegida, es necesario la realización y sustentación de una tesis.
Que, de acuerdo con la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Decano de la Carrera.

SE RESUELVE:
Primero.- Aprobar e inscribir el proyecto de tesis titulado: **EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS PARA RESTAURACIÓN EN LA ZONA RESERVADA BOSQUE DE ZÁRATE (HUAROCHIRÍ – LIMA),** con N° de registro: **PRE-11-2024-00504** y establecer la vigencia de aprobación de este proyecto de doce meses, hasta el **20 de enero del 2026**.

Segundo.- Nombrar al docente, colaborador **CLAUDE ARMANDO MELENDEZ CHOTA** como **ASESOR** para el desarrollo de la tesis en cuestión.

Regístrese, comuníquese y archívese,

Karina Diana Chuquispuma Jesus
Decana
Carrera de Ingeniería Ambiental

T // (511) 610 6738
informes@cientifica.edu.pe
cientifica.edu.pe

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

COMITÉ INSTITUCIONAL DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN CON ANIMALES Y BIODIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

CONSTANCIA N° 013-CIEI-AB-CIENTÍFICA-2025

El presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad de la Universidad Científica del Sur (CIEI-AB-CIENTÍFICA) da constanciaque el proyecto de investigación, cuyos datos se registran a continuación, ha sido **aprobado**.

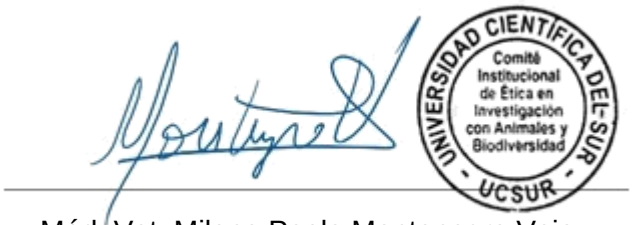
Código de registro:	**PRE-11-2024-00504**
Título:	**Evaluación e identificación de áreas degradadas para restauración en la zona reservada bosque de Zárate (Huarochirí – Lima)**
Investigador(a):	**Alisson Grecia Sosa Romero; Nahomi Alejandra Vasquez Santillán**

La aprobación del proyecto de investigación implica que el documento presentado a evaluación cumple con los lineamientos de Universidad en materia de investigación y ética, los cuales se sustentan en la normativa internacional vigente.

En tal sentido, esta aprobación carecerá de valor si es que el proyecto de investigación arriba indicado es modificado de cualquier forma. Toda enmienda, añadido, eliminacióno eventualidad (eventos adversos, etc.) posterior a la fecha de aprobación debe ser reportado al CIEI-AB-CIENTÍFICA.

La vigencia de la aprobación de este documento es de dieciocho (18) meses (**hasta el 05 de julio del 2026**), periodo en el que puede desarrollarse el proyecto. Cualquier trámite para su renovación deberá ser enviado antes del término de la vigencia de estedocumento, debiendo suspenderse todo desarrollo hasta que la renovación sea aprobada.

Villa El Salvador 06 de enero del 2025



Méd. Vet. Milena Paola Montenegro Veja
Presidenta (e)
Comité Institucional de Ética en Investigación con Animales y Biodiversidad