



Esta obra está bajo una
[Licencia Creative Commons
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Monitoreo de la cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo - BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín - 2023

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Maylen Emperatriz Rojas Ledesma
<https://orcid.org/0009-0000-6448-7389>

Asesor:

Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález
<https://orcid.org/0000-0001-9345-5474>

Moyobamba, Perú

2025



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Monitoreo de la cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín – 2023

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Maylen Emperatriz Rojas Ledesma

Sustentado y aprobado el 15 de abril del 2025, por los siguientes jurados:

Presidente de Jurado
Ing. M.Sc. Santiago Alberto
Casas Luna

Secretario de Jurado
Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala
Díaz

Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. Luis Armando
Cuzco Trigozo

Asesor
Ing. M.Sc. Alfonso Rojas
Bardález

Moyobamba, Perú
2025



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS
CONDUCTENTES A TÍTULO PROFESIONAL N° 007-2025-UNSM/EPIA/UI**

Jurado reconocido con Resolución N° 263-2023-UNSM/CF/FE, Moyobamba 27 de junio de 2023, y modificado con Resolución N° 634-2024-UNSM/CF/FE, Moyobamba 28 de noviembre de 2024.

**FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

A las 15:00 horas, del día martes 15 de abril de 2025, se dio inicio al acto público de sustentación del informe final de tesis **“Monitoreo de la cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo - BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín - 2023”** para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, presentado por **Maylen Emperatriz Rojas Ledesma**, con la asesoría del **Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna** (Presidente del jurado), **Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz** (Secretario), **Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo** (Vocal) y acompañado por el **Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález** (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 538-2023-UNSM/CF/FE, de fecha 14 de diciembre de 2023**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por la sustentante y evaluado por el jurado con la venia del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia de la sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **Dieciséis (16)**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es ARROBATORIA y correspondiente a la calificación de BUENA leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de sustentaciones N° 001 del Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis, en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las 4:43 p.m. horas, el mismo día martes 15 de abril de 2025.

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Presidente de Jurado

Ing. M.Sc. Marcos Aquiles Ayala Díaz
Secretario de Jurado

Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo
Vocal

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález
Asesor

Maylen Emperatriz Rojas Ledesma
Autor

Declaratoria de Autenticidad

Maylen Emperatriz Rojas Ledesma, con DNI N° 72668322, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Monitoreo de la cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo - BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín - 2023.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 15 de abril del 2025.


Maylen Emperatriz Rojas Ledesma
DNI/N° 72668322



Ficha de identificación

<p>Título: Monitoreo de cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín – 2023.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y Tecnología Ambiental Línea de investigación: Desarrollo Sostenible para la Amazonia Sublínea de investigación: Gestión Integral de Biodiversidad amazónica, Gestión y Promoción de Bionegocios Grupo de investigación: GESTION INTEGRAL PARA LA AMAZONIA SOSTENIBLE (N° 250-2022-UNSM/CFT/FE) Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Maylen Emperatriz Rojas Ledesma</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0009-0000-6448-7389</p>
<p>Asesor: Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0001-9345-5474</p>

Dedicatoria

A mis queridos padres Carlos Eleuterio Rojas Lujan y María Dolores Ledesma Guerra por su sacrificio, confianza y esfuerzo que hicieron, día a día para apoyarme en alcanzar mis metas.

A mi amado esposo José Luis Jiménez Monteza e hijos Enzo y Keylor por su apoyo incondicional y porque son el motivo que me impulsa a seguir adelante.

A mis hermanos y amigos por los ánimos y consejos que me brindaron para llegar a ser una profesional de éxito y de servicio a la sociedad.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi Dios, por que he sentido su presencia a lo largo de mi vida, mi señor no me abandona en ningún momento y me acompaña en los momentos de tribulación.

Un agradecimiento muy especial al Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardalez, por asumir el compromiso con gran profesionalismo y responsabilidad en la orientación de la investigación.

Mi especial consideración a todos mis docentes, por haberme brindado su apoyo durante mi desarrollo profesional y a cada una de las personas que hicieron posible este trabajo de investigación, tienen mi gratitud por toda su contribución de manera directa e indirecta en la realización de mi tesis.

Índice general

Ficha de identificación	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	17
2.1. Antecedentes de la investigación	17
2.1.1. Internacional	17
2.1.2. Nacional.....	17
2.1.3. Local	18
2.2. Fundamentos teóricos	19
2.2.1. Bosque de Protección Alto Mayo	19
2.2.2. Percepción remota “Teledetección”.....	20
2.2.3. Sensores remotos y sistemas satelitales.....	21
2.2.4. Sentinel.....	21
2.2.5. Procesamiento de imágenes satelitales	22
2.2.6. Segmentación	22
2.2.7. Interpretación visual	23
2.2.8. Índice de deforestación	23
2.2.9. Sistema de información geográfica	30
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	33
3.1.1. Contexto de la investigación.....	33

3.1.2. Periodo de ejecución.....	33
3.1.3. Autorizaciones y permisos	33
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	33
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales.....	34
3.2. Sistema de variables	34
3.2.1. Variables principales	34
3.3. Procedimientos de la investigación.....	35
3.3.1. Determinar el porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa al 2023 ...	35
3.3.2. Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM	36
3.3.3. Pérdida de la cobertura boscosa al 2030	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa al 2023	38
4.1.1. Pérdida de bosque - BPAM.....	38
4.2. Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM.....	40
4.3. Estimar la pérdida de la cobertura boscosa al 2 030.	41
4.4. Discusiones.....	44
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS	51
Anexo 1: Mapa de pérdida de bosque, año 2005 al 2009 – BPAM.....	51
Anexo 2: Permisos.....	52

Índice de tablas

Tabla 1 Factor Bayes.....	24
Tabla 2 Descripción de variables por objetivo específico.....	34
Tabla 3 Imágenes satelitales Sentinel 2.....	36
Tabla 4 Clasificación supervisada.....	38
Tabla 5 Cálculo del porcentaje de pérdida de bosque en BPAM	38
Tabla 6 Caseríos inmersos en el BPAM	40
Tabla 7 Bosque y no bosque - BPAM	41
Tabla 8 Cálculo de pérdida boscosa, año 2024 - 2030	41
Tabla 9 Estadísticos descriptivos de niveles de factor de medidas repetidas	43
Tabla 10 Factor Bayes y Prueba de esfericidad.....	43
Tabla 11 Estimaciones bayesianas de medias de grupo	44

Índice de figuras

Figura 1 Tipos de teledetección.....	20
Figura 2 Pérdida de bosque – BPAM 2015 - 2023.....	35
Figura 3 Imagen sentinel corregida – NDVI 2022	36
Figura 4 Tendencia de la pérdida de bosque.....	39
Figura 5 Tendéncia de pérdida al año 2030.....	42

RESUMEN

Monitoreo de la cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín – 2023

Los bosques en general, son indispensables en la regulación del clima, sin embargo, estos son alterados día a día, causando inestabilidad o infertilidad en los componentes del bosque, es por ello que la investigación estuvo enfocada en determinar la pérdida de cobertura vegetal y sobre todo se calculó la tasa de reposición, con la finalidad de proponer a las autoridades, gestionar dichos proyectos, se ejecutó en base a los siguientes objetivos: Determinar el porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, mediante imágenes de satélite; Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM; Estimar la pérdida de la cobertura boscosa al 2 030 con imágenes de satélite. La metodología planteada para llevar a cabo el estudio fue la teledetección mediante la clasificación supervisada, con una población de estudio de 182 000 ha, donde se utilizó imágenes de satélite y programas como el ArcGIS 10.8.2, en cuanto a los resultados fueron el porcentaje de pérdida de cobertura boscosa con la finalidad de recomendar proyectos de mitigación y a su vez en cálculo estimado del comportamiento del bosque al 2 030. Los resultados mostraron que el análisis de la pérdida de bosque en el BPAM, entre 2 001 y 2 023 revela una disminución significativa en la deforestación, con una pérdida total de 8 293,20 hectáreas y solo un 9,96% entre 2 020 y 2 023.

Palabras clave: Cobertura, deforestación y ArcGIS.

ABSTRACT

Monitoring the forest cover of the Alto Mayo Protection Forest – BPAM, using satellite images, San Martín – 2023

Forests in general are indispensable for climate regulation, however, they are altered day by day, causing instability or infertility in the forest components, which is why the research was focused on determining the loss of vegetation cover and, above all, the replacement rate was calculated. The aim was to propose to the authorities the management of such projects. The project was executed based on the following objectives: Determine the percentage of forest cover loss in the Alto Mayo Protected Forest - BPAM, using satellite images; Analyze the changes in forest cover in the Alto Mayo Protected Forest - BPAM; Estimate the loss of forest cover at 2,030 with satellite images. The methodology used to carry out the study was remote sensing through supervised classification, with a study population of 182,000 ha, using satellite images and programs such as ArcGIS 10.8.2, and the results consisted of the percentage of forest cover loss with the purpose of recommending mitigation projects and calculating the estimated behavior of the forest by 2030. The results showed that the analysis of forest loss in the BPAM between 2001 and 2023 reveals a significant decrease in deforestation, with a total loss of 8,293.20 hectares and only 9.96% between 2020 and 2023.

Keywords: Cover, deforestation, ArcGIS.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

En general, los bosques a nivel mundial son indispensables para regular el clima, además del mantenimiento de fuentes de agua y el suelo, los bosques albergan más del 60% de la biodiversidad global, sin embargo, las actividades antropogénicas son una grave amenaza por la deforestación y degradación del ecosistema (Frers, 2006). En el planeta, el 47% entrará en alto riesgo por la deforestación o degradación que se pueda generar hasta el 2030, causando el incremento de temperatura global, incendios forestales, aparición de plagas y enfermedades, las cuales causarán que el riesgo aumenta en la modificación de los patrones climáticos (Hancock, 2019).

La Amazonía peruana es considerada una región en peligro para su sustentabilidad, causado principalmente por la deforestación en la que para el 2030 la Amazonía peruana presentará una de las 11 regiones en peligro por la deforestación y degradación, estos se deben a la agricultura, deforestación, minería ilegal y la construcción de vías (Smith y Schwartz, 2015). En un estudio realizado por el MINAM, que abarca desde el año 2001 al 2020, resultando, que en ese lapso de tiempo se perdió 2 636,585 ha, se evidencia que a medida que pasa el tiempo, la pérdida de cobertura vegetal se va incrementando y este a su vez produce la degradación de los bosques (Sierra, 2021).

En base a la investigación realizada por (García, 2009) se demostró mediante imágenes una pérdida de la superficie boscosa de -7 763 ha y para la zona de amortiguamiento una pérdida -3 980 ha, correspondiente a los años 1990 y 2000. Con lo que se comprueba un problema en cuanto a la dinámica de la cobertura boscosa y lo que se debe monitorear con herramientas donde los resultados sean más rápidos y efectivos como las imágenes satelitales. De acuerdo a los datos anteriores se puede decir que el bosque de protección Alto Mayo, viene perdiendo cobertura boscosa por el hecho de que sus habitantes situados dentro del mismo bosque o zonas de amortiguamiento, realizan agricultura, por ende, causa la deforestación y degradación, ocasionando un impacto directo en el ecosistema, a esto se suma la falta de estudios en cuanto a la tasa de reposición y sobre todo en incrementar proyectos que puedan mitigar dichos efectos. Dicha investigación se enfocó en la problemática de los cambios boscosos debido a diferentes actividades antrópicas, ejemplo de ello son las actividades agrícolas y los asentamientos urbanos, así mismo se busca reducir los costos y el tiempo por monitoreos convencionales que se realizan en dicha zona de protección. Es por ello que

se formuló lo siguiente: ¿Cuál es la dinámica de la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín – 2023? Con la hipótesis de investigación Existe una dinámica significativa en la cobertura boscosa analizado con imágenes de satélite en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, el objetivo general fue Determinar la dinámica de la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín – 2023 acompañado de los objetivos específicos Determinar el porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa al 2023; Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM; Estimar la pérdida de la cobertura boscosa al 2030 con imágenes de satélite.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Internacional

Puerta et al. (2023), en su investigación se analizó 65 artículos sobre el uso global de imágenes Sentinel-2 para monitorear la cobertura boscosa. Encontró que Random Forest es el clasificador más efectivo (exactitud > 85%). Los estudios multitemporales revelaron pérdida de bosque en Sudamérica y África por agricultura/ganadería, y aumento en Asia por reforestación. Concluye que Sentinel-2 es crucial para el seguimiento forestal mundial, ofreciendo oportunidades para el estudio y conservación de bosques, incluyendo los del Perú.

Persaud (2021), en su investigación se empleó la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), para monitorear eficientemente y en tiempo casi real un área de bosque ubicado entre los ríos Cuyuni y Mazaruni, aplicando imágenes ópticas y de radar. El estudio de deforestación se realizó en dos tiempos, 1 990 al 2 016 aplicando imágenes ópticas y del 2017 al 2018 aplicando imágenes de radar. Concluyendo que utilizar imágenes de satélite del RADAR Sentinel – 1 es más preciso, completo y confiable, en comparación a las imágenes ópticas que se aplicaban en el país para el seguimiento de la deforestación en el área estudiada.

García-Ramírez (2020), el objetivo de su investigación se basó en calcular el volumen forestal a partir de información obtenido del Sistema de Planeación Forestal (SiPlaFor), así mismo de datos espectrales de imágenes satelitales del sensor Landsat 8 OLI. Se aplicó la técnica Random Forest para el cálculo del volumen forestal. Los resultados indicaron que la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RMSE), al aplicar modelo de 400 plantas de decisión, se conserva estable. El resultado de coeficiente del Random Forest fue de 0,84, con un valor de RMSE de 28,8 m³ ha⁻¹. Concluyendo que la metodología espectral de un sensor de media resolución combinado con información en campo, se convierte en una opción confiable para calcular el volumen forestal en bosques templados mixtos.

2.1.2. Nacional

Janampa y Ponce (2022), entre los años 2000 y 2020, en el distrito de Pangoa se evidenció un notable incremento de la infraestructura, que pasó de 116.17 ha a 576.74

ha, y de las áreas agrícolas, que aumentaron de 2946.04 ha a 5725.50 ha. Este crecimiento estuvo directamente relacionado con la pérdida de cobertura boscosa, registrándose una deforestación total de 3240.03 ha en ese periodo. Las proyecciones al 2030 indican que estas tendencias continuarán: la infraestructura alcanzaría 625.25 ha, la agricultura 7562.28 ha y la deforestación total llegaría a 8303.70 ha, confirmando una relación directa entre el avance de actividades antrópicas y la pérdida de bosque.

Flores (2020), en su investigación se utilizó imágenes de satélite de mediana y alta resolución con la finalidad de identificar unidades de vegetación, así mismo el análisis de modificaciones en el cambio de cobertura vegetal mediante el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada). Resultando que el área no vegetativa aumentó desde el año 2004 con 1,96 ha al 2018 con 38,75 ha, en cuanto a las clases de vegetación, la mixta era de 100,24 ha en el año 2004 y para el 2018 aumento a 148,344 ha, y la densa tuvo en el año 2004, 130,146 ha y en el 2018 40,285 ha. Concluyendo que el incremento del área sin bosque es demostración de cómo el cambio de uso de suelo, ocasionado por distintas acciones antrópicas, afecta un humedal de la costa.

Loayza (2020), su investigación se basó en aplicar técnicas visuales y digitales de imágenes satelitales Worldview-3 y Cbers 2, siendo corregidas en cuanto a su geometría y algoritmo de clasificación, teniendo en cuenta que se realizó trabajo en campo para identificar acciones que alteran el cambio de cobertura y así proyectar hacia el año 2025. Resultando una identificación de 5 tipos de bosques que al simular para el año 2025 se observó un aumento de la cobertura boscosa. En conclusión, el método aplicado permite la identificación del cambio de cobertura boscosa en el interior de Ecosistemas de Bosques y Vegetación de Conservación - EBVC, gracias a los elementos cuantitativos, descriptivos y geográficos, los cuales apoyan a tomar decisiones para conservarlos.

2.1.3. Local

Vargas et al. (2023), desarrollaron una metodología piloto para monitorear bosques y purmas utilizando imágenes satelitales sentinel – 2 en las provincias de Moyobamba, Rioja y zonas de Rodríguez de Mendoza, siendo un total de 12 000 km². El monitoreo de la pérdida de bosque y purma, con una unidad mínima de mapeo de 0,01 ha y alta coincidencia con imágenes de alta resolución, reveló una mayor pérdida de purma que de bosque entre 2019 y octubre de 2021, siendo 2020 el año con mayor pérdida para ambas coberturas. A nivel de fincas cafetaleras, la dinámica de pérdida fue similar a la del área de estudio, aunque en bosque se observó una ligera disminución en 2021 a nivel de finca. La evaluación de la exactitud del mapeo arrojó una exactitud global del

94,16%, mejorando hasta el 98% al excluir píxeles de borde, lo que influyó en la interpretación del tipo de cobertura. La comparación con alertas tempranas de Geobosques (Landsat) y GLAD (Sentinel-2) mostró una mayor definición de detalles y detección de pérdida de bosque con la metodología desarrollada (Sentinel-2), aunque la presencia de nubes afectó la detección temprana en ambas metodologías; además, la metodología propia fue la única en detectar pérdida de purma.

Jiménez (2023), en su investigación titulada “Análisis de la deforestación mediante sistemas de información geográfica, en la microcuenca Juningullo - Moyobamba – San Martín” donde se utilizó imágenes satelitales Landsat 5 y 8 (2008 y 2014) así como del Sentinel 2 (2020), que posteriormente fueron procesadas y se corrigió la atmósfera y la geometría, así mismo se aplicó el software ArcGIS y el SPSS Statistics. Resultando que entre los años 2008 y 2020 aumentó la deforestación en 31.93%. Así mismo se identificó 05 coberturas, de las cuales la que más representó es el bosque de montaña subandina con plantas medianas y matorral denso. También se identificó que el uso de suelo que más representa es el de sin uso productivo. Concluyendo que los SIG permiten calcular el aumento de la deforestación, siendo así un total de 87,6 ha/año.

Mamani (2018), investigó la deforestación en tiempo casi real utilizando imágenes de satélite en la amazonía andina. Para el monitoreo se aplicaron 5 sistemas satelitales. Resultando que durante los años 2001 al 2017, se perdieron 4,2 millones ha de bosque andino amazónico. Registrándose una tendencia ascendente de 426 mil ha para el año 2017. En cuanto al cambio climático se estimó una pérdida de 59 millones de tn/m de C en la amazonía del Perú durante los años 2013 al 2017, a consecuencia de la pérdida de cobertura forestal. Así mismo se mostró que las ANP y las tierras indígenas capturan 3,17 mil millones de tn m de C.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Bosque de Protección Alto Mayo

Es un área natural protegida por el estado peruano, alberga significativo tesoro ecológico, habitado por especies de fauna y flora únicas en la tierra. Sus bosques son cabeceros de la cuenca que suministra agua a más de 200 mil personas (SERNANP, 2019). Fue creada con R.S.0293 – 87 – AG/DGFF, el 23 de julio de 1987 y cuenta con un área de 182 000 ha.

Tiene como objetivo:

- La protección de las cuencas hidrográficas ya que abastecen de agua para consumo humano, industrial y agrícola.

- Protección de la flora, para conservar el suelo y la estructura vial, centros poblados y la tierra agrícola contra la erosión del agua, inundaciones y tormentas.
- Protección de la fauna, principalmente a animales en peligro de extinción o vulnerables.
- Protección del valor escénico o paisajístico para promoción del turismo, la educación y la recreación.
- Protección del valor de carácter científico para investigaciones. (Rutas-Alto-Mayo, 2020)

2.2.2. Percepción remota “Teledetección”

Se basa en la adquisición de información de un espacio, fenómeno u objeto en estudio. La información captada pertenece a ondas de sonido, base de energía electromagnética o variaciones de fuerza. En la actualidad los sensores de satélite son una excelente opción para captar distinciones de energía electromagnética (Quezada, 2021)

La interacción que se genera en la teledetección será de un flujo de radiación que tiene origen en los objetos y se transporta al sensor. Dicho flujo puede originar en base a tres tipos: Radiación terrestre expresada por los objetos; Radiación solar que se refleja por los objetos; Radiación expresada por el sensor y se refleja en los objetos (radar)

En cuanto a las técnicas, principalmente en base a los primeros dos tipos, encontramos la teledetección activa y pasiva (López, 2019)

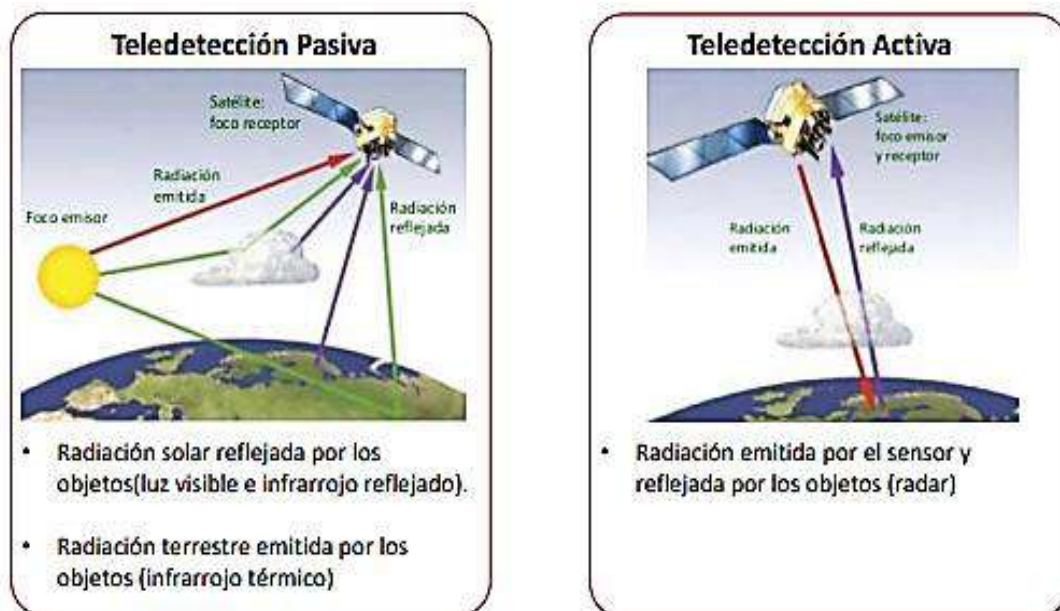


Figura 1
Tipos de teledetección
Fuente: (López, 2019).

2.2.3. Sensores remotos y sistemas satelitales

Los sensores convierten un fenómeno físico en un voltaje analógico medible y lo convierte en una pantalla legible para las personas, así también es transmitida para procesamiento adicional o para lectura (Maloy, 2023)

Los sensores son colocados en plataformas orbitales nombrados satélites, también pueden ser aerotransportados, los mencionados pueden establecer la resolución espacial y espectral para la obtención de una gama de datos y así poder ser utilizados en los diseños de un mapa (UVQ, 2020)

2.2.4. Sentinel

El programa Sentinel, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA) en el marco del sistema de monitoreo global Copernicus, tiene como objetivo proporcionar datos de observación de la Tierra de alta calidad para la gestión del medio ambiente, la vigilancia del cambio climático y la respuesta ante emergencias. En particular, Sentinel-2 es una misión compuesta por dos satélites gemelos (Sentinel-2A y Sentinel-2B) lanzados en 2015 y 2017, respectivamente. Estos operan en órbitas polares sincrónicas con el sol a una altitud aproximada de 786 km, y juntos proporcionan una cobertura global con una frecuencia de revisita de hasta cinco días en el ecuador, permitiendo una monitorización eficiente de los cambios en la superficie terrestre.

Sentinel-2 está equipado con el sensor óptico MSI (Multispectral Instrument), el cual captura imágenes en 13 bandas espectrales que van desde el espectro visible hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR). Estas bandas presentan diferentes resoluciones espaciales: 10 metros para las bandas visibles y del infrarrojo cercano (NIR), 20 metros para las bandas del borde rojo y SWIR, y 60 metros para bandas especializadas en corrección atmosférica. Esta capacidad multiespectral permite realizar un amplio rango de análisis biofísicos, incluyendo la evaluación de la salud de la vegetación, el monitoreo de cuerpos de agua, la identificación de usos del suelo y, especialmente, la detección de cambios en la cobertura boscosa.

El instrumento MSI de Sentinel-2 destaca por incluir bandas en el borde rojo (red edge), que son sensibles a variaciones sutiles en la estructura foliar y el contenido de clorofila, aspectos fundamentales en el monitoreo de ecosistemas forestales. Además, su resolución temporal y espacial permite desarrollar estudios multitemporales que detectan variaciones estacionales y anuales en la vegetación. A través del procesamiento de índices espectrales como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), el Sentinel-2 se convierte en una herramienta clave para estudios ambientales, análisis de deforestación y planificación del uso del suelo.

Los productos de Sentinel-2 están disponibles en distintos niveles de procesamiento. El nivel 1C contiene imágenes ortorrectificadas con reflectancia top-of-atmosphere (TOA), mientras que el nivel 2A, generado mediante el procesador Sen2Cor, proporciona reflectancia a nivel de superficie (Bottom-of-Atmosphere, BOA), que es más adecuada para análisis cuantitativos del medio terrestre. Los datos pueden ser descargados gratuitamente desde plataformas como el Copernicus Open Access Hub, Google Earth Engine o Amazon Web Services, y son compatibles con software de análisis espacial como ArcGIS, QGIS, SNAP (de la ESA), ENVI, R y Python (Netiq.com, 2020).

Gracias a estas capacidades, Sentinel-2 es ampliamente utilizado en investigaciones científicas, proyectos de conservación y políticas de gestión ambiental. Su uso en la detección de cambios en la cobertura forestal permite generar mapas temáticos, analizar tendencias y evaluar la efectividad de las estrategias de conservación, siendo particularmente relevante en regiones de alta biodiversidad o bajo presión por actividades humanas, como ocurre en áreas protegidas del Perú, incluyendo el Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM).

2.2.5. Procesamiento de imágenes satelitales

La interpretación visual o clasificación digital se refiere a la manera en que se analiza una imagen. Las diversas técnicas de interpretación visual se utilizan para evaluar aspectos cualitativos de la imagen, como las variaciones en tonalidades, texturas, formas, y otros elementos similares. Es importante recordar que esta técnica tiene limitaciones debido a las restricciones naturales de la percepción humana, especialmente en lo que respecta a la apreciación de tonalidades, lo que complica el análisis. Por esta razón, se sugiere optar por una clasificación digital como alternativa (Chipman, 1976)

2.2.6. Segmentación

La imagen se divide en múltiples zonas o regiones uniformes cuando se somete a un proceso de segmentación, y la intensidad de estas partes varía según el propósito del estudio. En esencia, este proceso se aplica una vez que se ha identificado el objeto de interés (Wesley, 1996).

La primera etapa en el análisis de imágenes es la segmentación, y su enfoque depende de cómo se aplicará, lo que la convierte en una de las tareas más desafiantes que involucra el uso de algoritmos que se conocen como métodos de discontinuidad y similitud. La discontinuidad se centra en la detección de puntos, líneas y bordes en la imagen (Belmonte, 2009)

2.2.7. Interpretación visual

Una vez que la imagen ha sido procesada, se aplican conocimientos y técnicas para obtener información a través de un análisis, que se lleva a cabo de manera visual según (Novo, 1988). La interpretación visual se fundamenta en la utilización de elementos como el tono, la textura, la forma, los patrones y las relaciones entre objetos. (Orntom, 1990)

La interpretación visual es un método utilizado para cartografiar bosques, pero tiene limitaciones debido a su naturaleza subjetiva, que varía según el intérprete, teniendo en cuenta que cada persona puede tener un enfoque diferente. Por lo tanto, se sugiere llevar a cabo evaluaciones en el terreno para obtener resultados más confiables, como mencionó Euler en 2 003 (Garnica, 2019)

2.2.8. Índice de deforestación

El cálculo de deforestación tiene como finalidad saber el estado de un bosque en distintos tiempos, volviéndose más fáciles al paso de los años ya que se desarrollaron tecnologías avanzadas, ejemplo de ello se encuentra la teledetección. La metodología para calcular la pérdida del bosque es mediante análisis de imágenes de satélite, teniendo dichas imágenes satelitales, se puede estimar la tasa de cambio anual, el cual se basa en comparar la cobertura boscosa de un mismo territorio en dos momentos distintos, para ello se aplica la siguiente ecuación que calcula el índice de deforestación propuesta por la FAO en el año 1 995 (Konko, 2018)

2.2.8.1. Fórmula para calcular la Tasa de Cambio Anual

$$r = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \frac{A_2}{A_1} \times 100$$

Siendo:

A1: cobertura vegetal o uso de suelo en el tiempo inicial

A2: cobertura vegetal o uso de suelo en el tiempo final

T1: periodo inicial

T2: periodo final

2.2.8.2. Factor bayes

El Factor Bayes (también conocido como Bayes Factor) es una medida estadística que se utiliza para comparar dos modelos o hipótesis, y determinar cuál de ellos se ajusta mejor a los datos observados.

Con este análisis, se corrobora los resultados de ANOVA y se comprueba si un factor (como el tiempo) influye en una variable (como la pérdida de bosque).

Este factor cuenta con dos modelos:

- Modelo alternativo o con efecto. un modelo donde sí se asume que hay un efecto del tiempo (es decir, que la pérdida de cobertura boscosa cambia a lo largo de los años).
- Modelo nulo. un modelo que asume que no hay cambio con el tiempo, o sea, que la pérdida de cobertura es igual todos los años (Ramos, 2021).

Interpretación

- Si el Factor Bayes es mayor que 1, los datos favorecen el modelo alternativo o con efecto.
- Si es menor que 1, favorece el modelo nulo.
- Mientras más grande sea el Factor Bayes, más fuerte es la evidencia a favor del modelo alternativo.

Tabla 1
Factor Bayes

Factor Bayes	Interpretación
1 - 3	Evidencia débil
3 – 10	Evidencia moderada
10 – 100	Evidencia fuerte
> 100	Evidencia muy fuerte o decisiva

2.2.8.3. Prueba de esfericidad

La prueba de esfericidad de Mauchly es un test estadístico desarrollado por John W. Mauchly en 1940, diseñado para evaluar si se cumple la suposición de esfericidad en análisis de varianza con medidas repetidas (ANOVA). Esta suposición implica que las varianzas de las diferencias entre todos los pares posibles de condiciones dentro del sujeto (es decir, niveles de la variable independiente) sean iguales. Si esta condición no se cumple, los resultados del ANOVA pueden ser inválidos debido a una inflación del estadístico F, lo que aumenta el riesgo de cometer errores tipo I, (Mauchly, 1940)

2.2.8.4. Índice de vegetación de diferencia normalizada

Este es uno de los indicadores más utilizados para el monitoreo de cobertura boscosa, salud de la vegetación y análisis de cambios en el tiempo.

Concepto sugerido:

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es un índice espectral utilizado para estimar la densidad y el estado de la vegetación a partir de imágenes satelitales. Se

calcula utilizando las bandas del espectro rojo y del infrarrojo cercano, aplicando la fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

donde NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano y RED en el rojo. Los valores del NDVI varían entre -1 y +1, siendo los valores cercanos a +1 indicativos de alta densidad de vegetación saludable (ARABLE, 2020).

2.2.8.5. Clasificación supervisada

- **Uso de Muestras de Entrenamiento:** El analista identifica áreas en la imagen donde la cobertura terrestre es conocida (por ejemplo, a través de datos de campo, imágenes de alta resolución o conocimiento experto). Estas áreas se utilizan como "muestras de entrenamiento" para enseñar al algoritmo las características espectrales (la intensidad de la luz reflejada en diferentes bandas del espectro electromagnético) asociadas a cada categoría de cobertura de interés (por ejemplo, bosque primario, palma, café, etc.).
- **Algoritmos de Clasificación:** Se utilizan diversos algoritmos para analizar las estadísticas espectrales de las muestras de entrenamiento y luego asignar cada píxel de la imagen a la clase que presenta la mayor similitud espectral. Algunos algoritmos comunes incluyen:
 - a) **Máxima Probabilidad (Maximum Likelihood):** Asume que los datos de cada clase siguen una distribución normal y asigna cada píxel a la clase con la mayor probabilidad de pertenecer.
 - b) **Distancia Mínima (Minimum Distance):** Calcula la distancia espectral entre cada píxel y la media de cada clase de entrenamiento, asignando el píxel a la clase más cercana.
 - c) **Máquinas de Vectores de Soporte (Support Vector Machines - SVM):** Encuentra el hiperplano óptimo que mejor separa las diferentes clases en el espacio espectral.
 - d) **Árboles de Decisión (Decision Trees) y Random Forest:** Crean una serie de reglas basadas en los valores de las bandas para clasificar los píxeles. Random Forest utiliza múltiples árboles de decisión para mejorar la precisión y robustez.
 - e) **Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Networks - ANN) y Aprendizaje Profundo (Deep Learning):** Algoritmos complejos capaces de aprender patrones intrincados en los datos espectrales.

- Creación de un Modelo de Clasificación: Las muestras de entrenamiento se utilizan para construir un "modelo de clasificación" que define las características espectrales de cada clase.
- Clasificación de la Imagen Completa: El modelo de clasificación se aplica a cada píxel de la imagen, asignándolo a la categoría de cobertura terrestre más probable según sus valores espectrales y el conocimiento aprendido del modelo.
- Generación del Mapa Temático: El resultado es un mapa temático donde cada píxel está coloreado o etiquetado según la clase de cobertura terrestre a la que fue asignado.
- Evaluación de la Exactitud: Es crucial evaluar la exactitud de la clasificación comparando el mapa temático resultante con datos de referencia independientes (datos de campo o puntos de verificación). Esto se realiza mediante la creación de una matriz de confusión y el cálculo de métricas de exactitud (exactitud global, exactitud del productor, exactitud del usuario, coeficiente Kappa) (Killen, 2015).

Proceso General de una Clasificación Supervisada:

Selección de la Imagen y Bandas: Se elige la imagen de satélite y las bandas espectrales relevantes para la discriminación de coberturas.

Definición de las Clases de Cobertura: Se definen claramente las categorías de cobertura terrestre de interés (por ejemplo, bosque primario, purma, café, pastizal).

Colección de Muestras de Entrenamiento: Se identifican y digitalizan áreas representativas de cada clase en la imagen, asegurándose de que capturen la variabilidad espectral dentro de cada clase.

Extracción de Firmas Espectrales: Se extraen las estadísticas espectrales (por ejemplo, la media y la desviación estándar de los valores de las bandas) para cada clase de entrenamiento. Estas "firmas espectrales" caracterizan cada categoría.

Selección y Aplicación del Algoritmo de Clasificación: Se elige un algoritmo de clasificación apropiado y se entrena utilizando las firmas espectrales de las muestras de entrenamiento.

Clasificación de la Imagen: El algoritmo entrenado se aplica a la imagen completa para asignar cada píxel a una de las clases definidas.

Generación del Mapa Temático: Se visualiza el resultado como un mapa temático.

Evaluación de la Exactitud: Se recolectan datos de referencia independientes y se comparan con el mapa clasificado para evaluar la precisión de la clasificación. Se genera una matriz de confusión y se calculan métricas de exactitud.

Refinamiento (Opcional): Si la exactitud no es satisfactoria, se pueden refinar las muestras de entrenamiento, probar diferentes algoritmos o ajustar los parámetros del algoritmo (Killen, 2015).

Ventajas de la Clasificación Supervisada:

- Permite clasificar la imagen en categorías temáticas específicas de interés para el usuario.
- Puede lograr una alta exactitud si las muestras de entrenamiento son representativas y el algoritmo es adecuado.
 - Proporciona un mapa temático directamente interpretable.

Desventajas de la Clasificación Supervisada:

- Requiere conocimiento previo del área de estudio para seleccionar y delimitar las muestras de entrenamiento.
- La calidad de la clasificación depende en gran medida de la calidad y representatividad de las muestras de entrenamiento.
- Puede ser más laboriosa en la etapa inicial de recolección de muestras.
- En el contexto de tu tesis sobre el monitoreo de la cobertura boscosa del BPAM:

La clasificación supervisada es probablemente el método principal que utilizarás para mapear el bosque primario y la purma a partir de tus imágenes Sentinel-2. Necesitarás identificar áreas en tus imágenes (posiblemente con la ayuda de imágenes de alta resolución, datos de campo si los tienes, o conocimiento del área) que representen claramente estas dos categorías. Estas áreas se convertirán en tus muestras de entrenamiento para "enseñar" al algoritmo a reconocer las características espectrales del bosque primario y la purma. Luego, el algoritmo clasificará el resto de la imagen basándose en esta información. Finalmente, evaluarás la exactitud de tu mapa comparándolo con datos de verificación independientes (Killen, 2015).

2.2.8.6. Clasificación no supervisada

Es un método de agrupación de píxeles en clases o clústeres basándose únicamente en sus valores espectrales (la intensidad de la luz reflejada en diferentes bandas del espectro electromagnético). A diferencia de la clasificación supervisada, no se requiere información previa ("muestras de entrenamiento") sobre qué tipo de cobertura terrestre corresponde a cada grupo de píxeles.

Puntos clave de la clasificación no supervisada:

- Agrupamiento Automático: El algoritmo identifica grupos de píxeles que son similares espectralmente entre sí. Esto se logra mediante algoritmos de clustering como K-means o ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm).
- Sin Conocimiento Previo: No necesitas "entrenar" al algoritmo proporcionándole ejemplos de bosque, purma, etc. El algoritmo trabaja directamente con los datos de la imagen.
- Identificación de Patrones Naturales: La clasificación no supervisada es útil para descubrir patrones inherentes en los datos espectrales que podrían corresponder a diferentes tipos de cobertura terrestre, incluso si no se tenían en mente inicialmente.
- Número de Clases: El usuario generalmente especifica el número de clases o clústeres en los que se deben agrupar los píxeles. El algoritmo intentará particionar los datos en ese número de grupos.
- Interpretación Posterior: Una vez que los píxeles se han agrupado en clases, el analista debe interpretar qué tipo de cobertura terrestre representa cada clase. Esto se hace comparando las características espectrales de cada clase con conocimiento del área de estudio o utilizando información auxiliar (como imágenes de alta resolución o datos de campo) (Arango, Branch, & Botero, 2005).

Proceso general de una clasificación no supervisada:

1. Selección de la Imagen y Bandas: Se elige la imagen de satélite y las bandas espectrales relevantes para la discriminación de coberturas.
2. Aplicación del Algoritmo de Clustering: Se aplica un algoritmo de clustering (por ejemplo, K-means o ISODATA) a los datos de la imagen. El algoritmo itera para agrupar los píxeles en el número de clases especificado, minimizando la varianza dentro de cada clase y maximizando la varianza entre clases.
3. Generación del Mapa Temático Inicial: El resultado es un mapa donde cada píxel está asignado a una de las clases generadas por el algoritmo. Estas clases inicialmente son solo grupos numéricos (por ejemplo, Clase 1, Clase 2, Clase 3).
4. Interpretación y Asignación de Clases: El analista examina las características espectrales de cada clase (a menudo visualizando los centroides de los clústeres en el espacio espectral) y las compara con el conocimiento del terreno o datos de referencia para asignar un significado temático a cada clase (por ejemplo, Clase 1 = Bosque Primario, Clase 2 = Purma, Clase 3 = Café, etc.) (Arango, Branch, & Botero, 2005).
- 5.

Ventajas de la Clasificación No Supervisada:

- No requiere conocimiento previo detallado del área de estudio.
- Puede revelar agrupaciones espectrales inesperadas o clases de cobertura no anticipadas.
- Es más rápida y menos laboriosa que la clasificación supervisada en la etapa inicial (Arango, Branch, & Botero, 2005).

Desventajas de la Clasificación No Supervisada:

- La interpretación de las clases puede ser subjetiva y requerir experiencia.
- Las clases espectrales no siempre corresponden directamente a categorías temáticas de interés.
- Puede ser difícil controlar qué tipos de cobertura se separan o se mezclan en las clases resultantes (Arango, Branch, & Botero, 2005).

2.2.8.7. Monitoreo multitemporal

Se refiere al proceso de analizar una serie de imágenes de la misma área geográfica capturadas en diferentes momentos a lo largo del tiempo. El objetivo principal es detectar y cuantificar los cambios que han ocurrido en la superficie terrestre durante ese período.

Puntos clave del monitoreo multitemporal

- Series de Tiempo de Imágenes: El monitoreo multitemporal se basa en la disponibilidad de múltiples imágenes de satélite del mismo lugar, adquiridas en diferentes fechas. Estas imágenes forman una "serie de tiempo".
- Detección de Cambios: Al comparar las imágenes de diferentes fechas, se pueden identificar áreas donde ha habido cambios en la cobertura terrestre, como:
 - a) Deforestación: Pérdida de cobertura boscosa.
 - b) Reforestación: Establecimiento de nueva cobertura boscosa.
 - c) Expansión agrícola: Conversión de bosques o pastizales a tierras de cultivo.
 - d) Urbanización: Crecimiento de áreas urbanas.
 - e) Cambios en cuerpos de agua: Expansión o reducción de lagos, ríos, humedales.
 - f) Desastres naturales: Impacto de incendios, inundaciones, deslizamientos.
 - g) Fenología de la vegetación: Cambios estacionales en la vegetación (crecimiento, floración, senescencia).
- Cuantificación de los Cambios: No solo se detectan los cambios, sino que también se pueden medir su magnitud (por ejemplo, hectáreas de bosque perdido, porcentaje de aumento de área urbana).

- **Análisis de la Dinámica del Cambio:** El monitoreo multitemporal permite comprender la velocidad y los patrones de los cambios a lo largo del tiempo. Se pueden identificar tendencias, tasas de cambio anuales o períodos de cambio acelerado.
- **Identificación de Causas y Consecuencias:** Al analizar los patrones de cambio en relación con otra información (datos socioeconómicos, políticas de uso de la tierra, eventos climáticos), se pueden inferir las posibles causas y consecuencias de los cambios detectados.
- **Herramientas y Técnicas:** Se utilizan diversas técnicas y herramientas para el monitoreo multitemporal, incluyendo:
 - a) **Superposición visual:** Comparación directa de imágenes en diferentes fechas.
 - b) **Diferenciación de imágenes:** Restar los valores de píxeles de imágenes en diferentes fechas para resaltar las áreas de cambio.
 - c) **Análisis de componentes principales (PCA):** Reducir la dimensionalidad de los datos multitemporales para identificar patrones de cambio.
 - d) **Clasificación post-clasificación:** Clasificar cada imagen de la serie de tiempo por separado y luego comparar los mapas de clasificación para identificar los cambios de clase.

Análisis de series de tiempo espectrales: Analizar la evolución de los valores espectrales de los píxeles a lo largo del tiempo.

Uso de índices espectrales: Analizar cómo cambian índices como el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) a lo largo del tiempo (Bonilla & Tapia, 2021).

2.2.9. Sistema de información geográfica

En inglés, la abreviatura más común es GIS (Geographic Information System). Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema informático diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y visualizar información espacial o geográfica.

- a) **Componentes de un SIG:**
 - **Hardware:** La computadora y los periféricos necesarios para operar el software SIG (monitor, impresora, digitalizador, etc.).
 - **Software:** El programa o conjunto de programas que proporcionan las herramientas para realizar las funciones del SIG (por ejemplo, ArcGIS, QGIS, gvSIG).
 - **Datos:** La información geográfica que se almacena y analiza en el SIG. Estos datos pueden ser de diversas fuentes y formatos, incluyendo:
 - **Datos Espaciales:** Información con una ubicación geográfica definida, como:
 - **Datos Vectoriales:** Representan entidades geográficas como puntos (ubicaciones), líneas (carreteras, ríos) y polígonos (áreas, límites de parcelas). Cada entidad tiene

atributos asociados (por ejemplo, el nombre de una ciudad, el tipo de carretera, el uso de suelo de un polígono).

- Datos Ráster: Representan la superficie terrestre como una cuadrícula de celdas o píxeles, donde cada celda tiene un valor que representa una característica (por ejemplo, la altitud, la temperatura, el color de una imagen de satélite).
- Datos Alfanuméricos (Atributos): Información descriptiva asociada a las entidades espaciales, almacenada en tablas.
- Usuarios: Las personas que utilizan el SIG para realizar tareas específicas (analistas, planificadores, investigadores, etc.).
- Métodos: Los procedimientos y técnicas utilizados para diseñar y aplicar el SIG, incluyendo la captura de datos, el análisis espacial y la visualización de resultados.

Capacidades de un SIG:

- Captura de Datos: Permite ingresar datos espaciales y alfanuméricos al sistema desde diversas fuentes (GPS, digitalización de mapas, imágenes de satélite, bases de datos existentes, etc.).
- Almacenamiento y Gestión de Datos: Facilita la organización, el almacenamiento y la gestión eficiente de grandes volúmenes de información geográfica.
- Manipulación de Datos: Permite realizar operaciones para modificar o transformar los datos (por ejemplo, proyección de coordenadas, edición de geometrías, generalización de líneas).
- Análisis Espacial: Es la capacidad central de un SIG. Permite realizar consultas y análisis basados en la ubicación y las relaciones espaciales entre las entidades geográficas, como:
 - ✓ Superposición (Overlay): Combinar información de diferentes capas geográficas basadas en su ubicación.
 - ✓ Proximidad (Proximity): Determinar qué entidades están cerca unas de otras (por ejemplo, buffer, análisis de vecindad).
 - ✓ Consultas Espaciales: Seleccionar entidades basadas en su ubicación o sus atributos espaciales.
 - ✓ Análisis de Redes: Estudiar las relaciones y los flujos en sistemas lineales (por ejemplo, rutas óptimas, análisis de accesibilidad).
 - ✓ Modelado Espacial: Crear modelos para simular procesos geográficos o predecir resultados.
- Visualización: Permite presentar la información geográfica de manera efectiva a través de mapas, gráficos, informes y otros productos visuales.

2.2.9.1. Aplicaciones de los SIG:

Los SIG tienen una amplia gama de aplicaciones en diversos campos, incluyendo:

- Gestión de Recursos Naturales: Monitoreo ambiental, gestión forestal, agricultura de precisión, conservación de la biodiversidad.
- Planificación Urbana y Regional: Zonificación, análisis de crecimiento urbano, gestión de infraestructuras.
- Gestión de Desastres: Evaluación de riesgos, modelado de inundaciones, planificación de rutas de evacuación.
- Salud Pública: Análisis de la distribución de enfermedades, planificación de servicios de salud.
- Transporte y Logística: Optimización de rutas, gestión de flotas, análisis de tráfico.
- Marketing y Negocios: Análisis de mercado, segmentación de clientes, planificación de ubicaciones.
- Investigación Científica: Análisis espacial de fenómenos geográficos, modelado ambiental (Geolnova, 2021).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1. Contexto de la investigación

3.1.1.1. Ubicación política:

El área de estudio se ubica en las provincias de Rioja y Moyobamba, de la Región San Martín, abarca un total de 182 000 hectáreas, así mismo va desde los 900 a lo 3 400 m.s.n.m (PeruBirds, 2022)

3.1.1.2. Ubicación geográfica

Esta ubicada en el norte de la selva en las coordenadas 5°23'21" S, 6°10'56" S, 77° 43'18" W, 77° 12' 17" W" (gtz, 2013).

3.1.2. Periodo de ejecución

El estudio se realizó durante un periodo de 8 meses que va desde el 14 – 12 – 2023 al 13 – 08 – 2024.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Con carta N° 107 – 2023 – SERNANP - BPAMY, se acepta la solicitud de ingreso al Bosque De Protección Alto Mayo – BPAM, con fines de efectuar invetsigacion con colecta denominado “Monitoreo de la Cobertura Boscosa del Bosque de Proteccion Alto Mayo”.

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

3.1.4.1. Control Ambiental

✓ Protección de zonas sensibles:

Se identificó zonas de alta sensibilidad dentro del BPAM que son afectadas por actividades humanas o cambios en el uso de la tierra. En la que se aseguró que el método de monitoreo no es invasivo.

✓ Control de la deforestación:

Uno de los objetivos principales del monitoreo de la cobertura boscosa fue la detección y análisis de patrones de deforestación o degradación del bosque.

Se evaluó el impacto de actividades humanas como la expansión agrícola y el crecimiento demográfico.

3.1.4.2. Control de Bioseguridad

- ✓ Desarrollo de un protocolo de manejo de datos:

La información que se obtuvo mediante el monitoreo satelital, como imágenes y datos de cambio de uso de la tierra, se trató con protocolos de seguridad para evitar filtraciones o usos indebidos de la información que puedan comprometer la biodiversidad o las políticas ambientales de la región.

- ✓ Normativas locales y regionales:

Se aseguró que toda la investigación cumpla con las normativas locales y regionales sobre protección de la biodiversidad, gestión ambiental y bioseguridad. Esto incluye manejo de datos sensibles.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

La investigación está sujeta a los principios éticos de la institución las cuales se mencionan a continuación totalidad/ integridad, respeto a las personas, respeto al ecosistema, beneficencia y justicia.

Cabe indicar que el estudio se caracterizó por los principios que muestran el asesor y tesisistas las cuales son respeto a la flora y fauna silvestre, respeto a las comunidades nativas, responsabilidad y solidaridad.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales

V: Cobertura boscosa

Tabla 2

Descripción de variables por objetivo específico

Objetivo específico № 1: Determinar el porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa al 2023			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Cobertura boscosa	Porcentaje de pérdida	ArcGIS (Imágenes de satélite)	%
Objetivo específico 2: Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Cobertura boscosa	Porcentaje de pérdida Tasa de reposición	ArcGIS (Imágenes de satélite)	ha
Objetivo específico № 3: Estimar la pérdida de la cobertura boscosa al 2030 con imágenes de satélite.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Cobertura boscosa	Pérdida al 2 030	ArcGIS (Imágenes de satélite)	%

3.3. Procedimientos de la investigación

La tesis se realizó con un orden lógico procedimental ascendente teniendo en cuenta los siguientes objetivos: Determinar el porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM; analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM; Estimar la pérdida de la cobertura boscosa al 2030 con imágenes de satélite.

3.3.1. Determinar el porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa al 2023

Se realizó la descarga del polígono en formato shapefile del área natural protegida, Bosque de protección Alto Mayo – BPAM, se obtuvo el shapefile de bosque no bosque de la plataforma GEOBOSQUES (GEOBOSQUES, 2024) y se procedió a realizar su respectivo mapeo e intersección de toda la data, todo el proceso fue realizado en el programa ArcGIS. Los datos obtenidos fueron copiados al programa Microsoft Excel, donde se realizaron las tablas y figuras que se muestran en el capítulo IV.

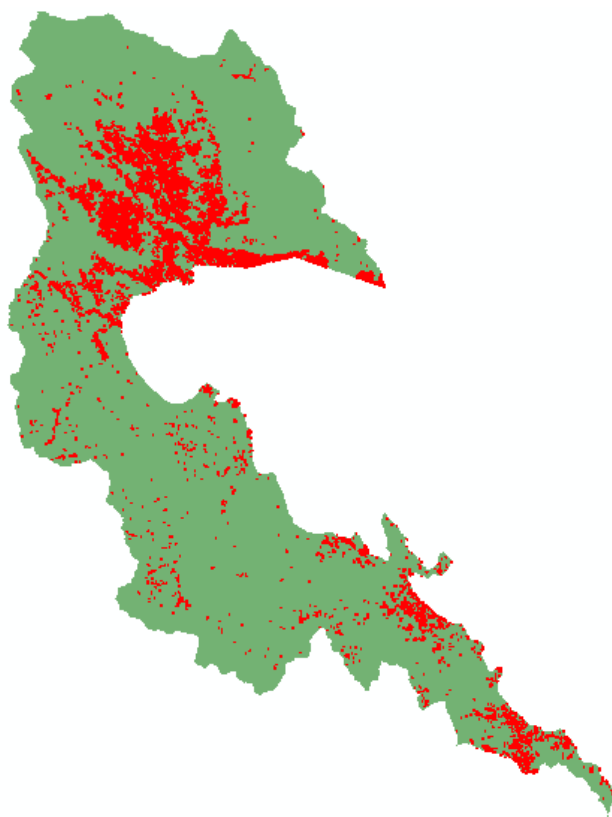


Figura 2

Pérdida de bosque – BPAM 2015 - 2023.

3.3.2. Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM

Tabla 3

Imágenes satelitales Sentinel 2

Imagen	Satélite	Bandas	Año	Fecha
T17MRP_20170723T152641	Sentinel 2A	- Rojo: banda 1 - Verde: banda 2	2017	2017/07/23
T17MRP_20220831T152639	Sentinel 2A	- Azul: banda 3	2022	2022/08/31

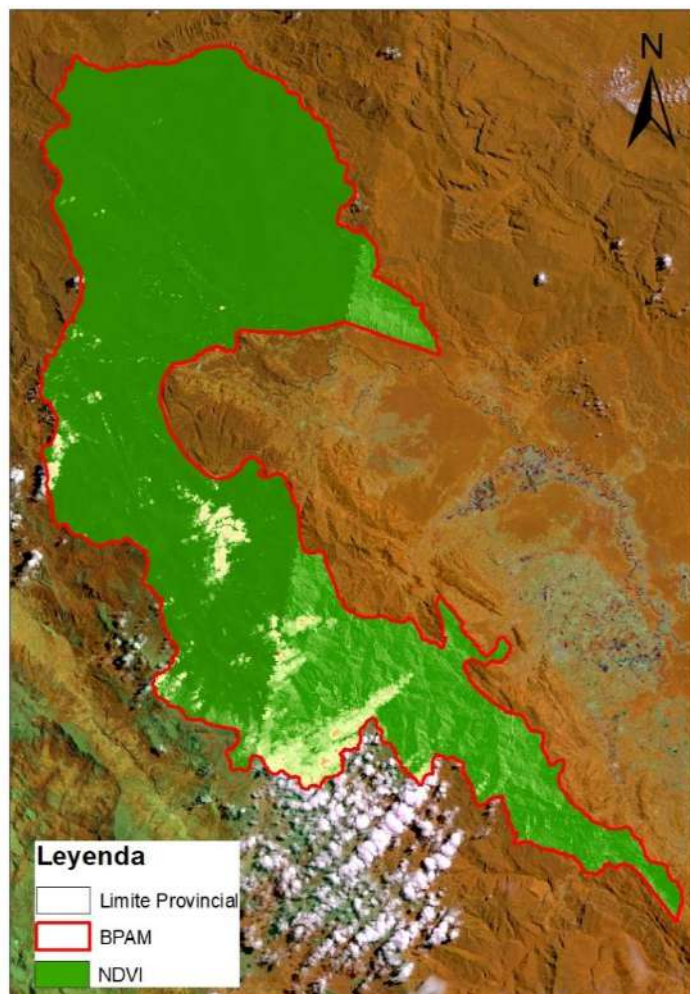


Figura 3

Imagen sentinel corregida – NDVI 2022.

En la imagen se observa la corrección de la imagen, donde se combinó las bandas 1, 2 y 3, para obtener el índice de evolución vegetativa – NDVI, y en base a dicha combinación se procedió con la clasificación supervisada del área de estudio utilizando las herramientas “create signatures” y “máximum likelihood classification”, en Arcgis.

3.3.3. Pérdida de la cobertura boscosa al 2030

Para el cumplimiento del objetivo se realizó las siguientes actividades Procesamiento de imágenes de satélite; Clasificación de imágenes de satélite no supervisadas; Sistematización de imágenes de satélite; Estimación de la pérdida de la cobertura boscosa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Porcentaje de pérdida de la cobertura boscosa al 2023

4.1.1. Pérdida de bosque - BPAM

4.1.1.1. Clasificación supervisada del área de estudio

Tabla 4

Clasificación supervisada

1 Codificación	AÑOS	
	2017	2022
1 Bosque	138 025,21	138 487,88
2 Hidrología	15 869,14	9 707,10
3 Urbano	5 289,00	9 571,61
4 Pérdida boscosa	19 529,16	12 254,13
5 No bosque	3 287,48	11 979,31

De acuerdo a la tabla N°4, se observa los resultados obtenidos de una clasificación supervisada manualmente en base a las imágenes satelitales. El análisis comparativo entre los años 2017 y 2022 muestran cambios significativos en la cobertura del suelo del área de estudio. Se observa un ligero aumento en el área de bosque (de 138 025,21 a 138 487,88), acompañado de una notable disminución en la pérdida boscosa y en las zonas de hidrología, lo cual podría reflejar mejoras en la conservación forestal, pero también una posible afectación en los cuerpos de agua. Al mismo tiempo, se evidencia un crecimiento considerable en las zonas urbanas (de 5 289 a 9 571,61) y en las áreas clasificadas como no bosque, lo que sugiere una expansión urbana y cambios en el uso del suelo que podrían estar influyendo en el balance hídrico y en la dinámica ambiental del territorio.

Tabla 5

Cálculo del porcentaje de pérdida de bosque en BPAM

Año	Área (ha)	%
2 001 – 2 004	1 146,42	13,82
2 005 – 2 009	2 930,04	35,33
2 010 – 2 014	2 317,73	27,95
2 015 – 2 019	1 072,76	12,94
2 020 – 2 023	826,25	9,96
Total	8 293,20	100

Fuente: (GeoBosques, 2024)

En la tabla N° 5, se observa los resultados en base a los datos obtenidos de la pagina Geobosques. Se muestra la evolución de la pérdida de bosque a lo largo de diferentes intervalos de tiempo (2001 – 2023). También se aprecia que, en el año 2020 a 2023 hubo una menor pérdida boscosa de 9,96%, en comparación a los años 2005 – 2009 con un 35,33% de pérdida. Se calcula que durante 22 años se perdieron 8 293,20 ha de bosque en el área natural protegida “Bosque de Protección Alto Mayo”. Con estos datos se deduce que la deforestación esta siendo controlada y se logró tener vigilancia de cualquier otra actividad conducente a pérdidas boscosas.

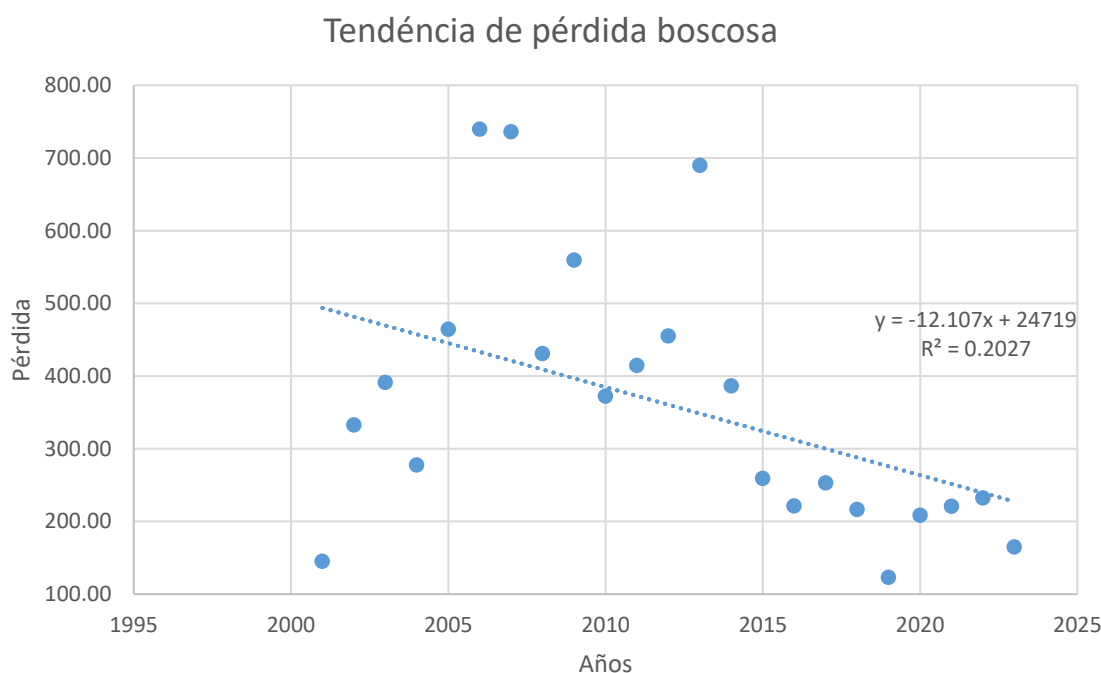


Figura 4
Tendencia de la pérdida de bosque.

En la figura N°4, se observa la dispersión entre las variables de estudio, donde se muestra una tendencia descendente en las pérdidas de cobertura boscosa a lo largo de los años. Esto sugiere que, en general, las pérdidas han disminuido con el tiempo. En cuanto al valor R², indica que también se ajusta la línea de tendencia a los datos. Un R² de 20,27% sugiere una correlación baja entre las variables, lo que significa que los años explican aproximadamente el 20,27% de la variación en la pérdida boscosa y que existen otros factores que influyen mucho más, como la expansión agrícola, cambios climáticos, actividades ilegales, entre otros. En resumen, la tendencia descendente en la pérdida boscosa sugiere una posible mejora, pero su baja correlación con el tiempo (R² = 20.27%) indica que otros factores (agricultura, clima, ilegalidad) tienen una

influencia mucho mayor y requieren atención prioritaria para estrategias de conservación efectivas.

4.2. Analizar los cambios en la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo – BPAM

Tabla 6

Caseríos inmersos en el BPAM

N°	Caseríos	Fecha creación	de	Población (2004)	Población 2017
1	La Libertad	26/05/2003		254	154
2	El Paraiso del Alto Mayo	20/09/2002		831	336
3	Juan Velasco Alvarado	14/11/2003		920	393
4	Candamo	-		240	Menos de 30
5	Miraflores	-		-	70
6	Las Brisas	-		-	Menos de 30
7	Loma Verde	-		-	Menos de 30
8	Los Cristales	-		-	Menos de 30
9	Selva Alegre	-		-	Menos de 30
10	Huayaquil	-		-	57
11	El Triunfo	12/03/2001		210	149
12	Nueva Jordania	08/11/2002		240	Menos de 30
13	Perla Del Mayo	31/10/1995		162	69
14	Nuevo Eden	19/03/1997		161	280
15	Playa Azul	-		35	Menos de 30
16	San Pablo del Alto Mayo	07/08/2002		135	95
17	El Afluente	12/11/1990		372	272
18	Jorge Chavez	12/11/1990		194	89
19	Venceremos	-		12	49
20	La Esperanza	12/12/2002		203	111
21	Santa Rosa del Alto Mayo	12/03/2001		180	99
22	El Candamo del Alto Mayo	-		-	81
23	El Agua Blanca del Alto Mayo	-		-	Menos de 30
24	Nuevo Jaen	-		90	62
25	Nuevo Amazonas	-		-	93
26	Nuevo Porvenir	-		-	Menos de 30
27	Flor de Selva	-		-	93

En la tabla N° 6 se puede observar la variación existente en las poblaciones inmersas en el BPAM, y se muestra que en su mayoría han ido reduciendo de población a través de los años debido a que varias familias optaron por poblar otras zonas que derivaron en nuevos caseríos.

Tabla 7
Bosque y no bosque - BPAM

Cobertura boscosa	Ha	%
Bosque	158329,74	87,02%
Hidrografía	891,82	0,49%
No bosque	6925,38	3,81%
No monitoreado	7559,23	4,15%
Pérdida	8293,20	4,56%
TOTAL	182000,00	100%

Fuente: (GeoBosques, 2024)

En la tabla N° 7, se observa que la cobertura boscosa en el área de estudio representa el 87,02% del total del territorio, lo que indica un ecosistema aún bien conservado; sin embargo, se ha registrado una pérdida de bosque del 4,56%, probablemente asociada a actividades antrópicas como la expansión agrícola, la tala o el desarrollo urbano. Además, un 4,15% del área no ha sido monitoreada, lo cual representa una limitación en la precisión del análisis, ya que podrían estarse subestimando los cambios reales en la cobertura. Por otro lado, el 3,81% corresponde a zonas sin cobertura boscosa y el 0,49% está representado por cuerpos de agua. Estos datos evidencian la necesidad de continuar con el monitoreo y evaluación del paisaje.

4.3. Estimar la pérdida de la cobertura boscosa al 2 030.

Tabla 8
Cálculo de pérdida boscosa, año 2024 - 2030

Año futuro	Pérdida futura	%
2024	214,43	17,20
2025	202,33	16,23
2026	190,22	15,26
2027	178,11	14,29
2028	166,00	13,31
2029	153,98	12,34
2030	141,79	11,37
TOTAL	1246,78	

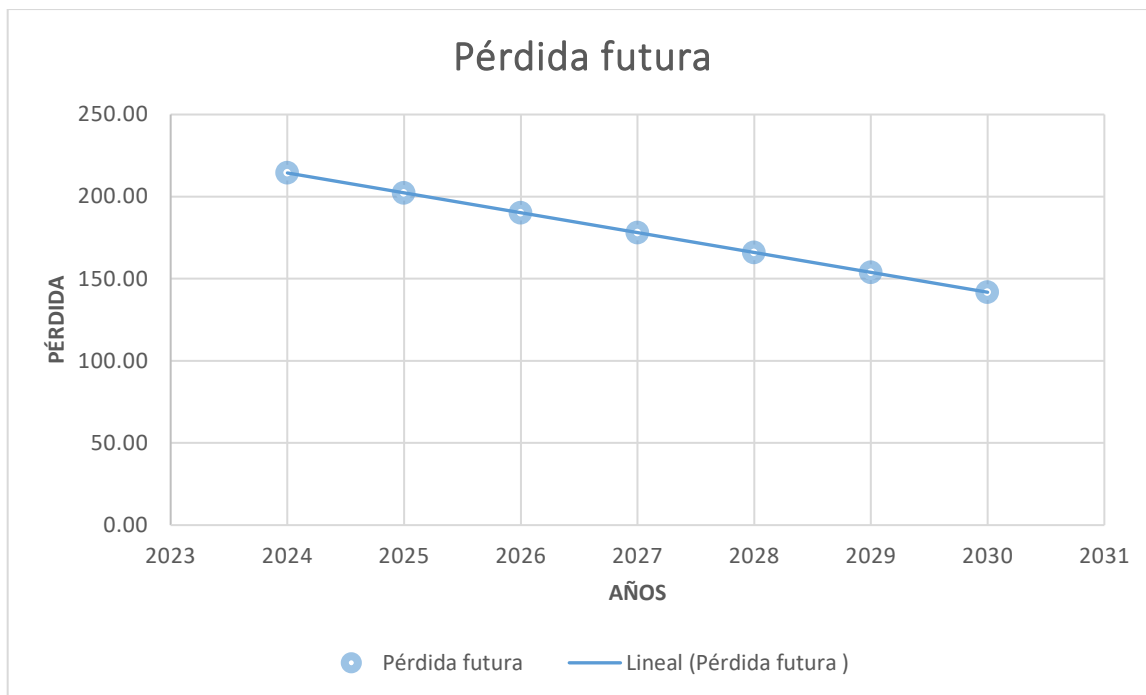


Figura 5
Tendencia de pérdida al año 2030.

Los resultados de la proyección de pérdida de bosque, muestran una tendencia decreciente en la pérdida de cobertura forestal desde 2024 hasta 2030. La pérdida de bosque disminuye cada año de 214,43 en 2024 a 141,79 en 2030. Esto sugiere una reducción continua en la tasa de deforestación, lo cual podría ser un indicador positivo si las condiciones actuales se mantienen o mejoran. Las posibles causas de disminución podría deberse a la implementación de políticas de conservación o prácticas de manejo sostenible. Sin embargo, sin acciones específicas para reducir la deforestación, esta tendencia puede cambiar debido a factores no contemplados en el modelo. Aunque la tasa de pérdida de bosque proyectada disminuye, sigue habiendo una deforestación significativa cada año, lo cual impacta la biodiversidad, el almacenamiento de carbono y el equilibrio ecológico.

Dado que el valor de R^2 es relativamente bajo (0,2027), esta proyección tiene una precisión limitada. Esto significa que la variabilidad en los datos históricos de pérdida de bosque no se explica completamente por la línea de tendencia lineal, y existen otros factores que podrían afectar la deforestación.

- Prueba de ANOVA de medidas repetidas utilizando un enfoque bayesiano.

Tabla 9
Estadísticos descriptivos de niveles de factor de medidas repetidas

Estadísticos descriptivos de niveles de factor intra-sujetos					
Variables dependientes	Media	Desviación estándar	N	Mín	Máy
Año	2015,50	8,80	30	2001	2030
Pérdida	318,23	177,43	30	123,07	739,52

En la tabla N°9, se observa los resultados del ANOVA de medidas repetidas mediante un enfoque bayesiano, ya que lo que se pretende es validar estadísticamente la variabilidad de la pérdida boscosa en el BPAM. Los resultados mostraron una media de pérdida anual de 318,23 ha, con una desviación estándar de 177,43 ha, reflejando una moderada dispersión de los datos. Además, el rango de pérdida varía entre 123,07 ha y 739,52 ha en el periodo analizado, lo que indica una dinámica inestable en la deforestación del BPAM.

Tabla 10
Factor Bayes y Prueba de esfericidad

Factor Bayes y Prueba de esfericidad					
Efecto intra-sujetos	Factor Bayes^a	Prueba de esfericidad de Mauchly			
		W de Mauchly^b	Chi-cuadrado aproximado	gl	Sig.
	4 043E+49	1,000	,000	0	

En la tabla N°10, se observa que el factor bayes es de 4 043E+49 lo que significa que existe una fuerte evidencia de que los años tienen efecto en la pérdida de bosque. La prueba de esfericidad de Mauchly, con un W de 1,000, indica que se cumple la suposición de esfericidad, lo que refuerza la validez del ANOVA, así mismo los valores de Chi-cuadrado y grados de libertad es de 0, lo que significa que no hay diferencias importantes y se acepta la hipótesis nula.

Hipótesis:

H₀ (nula): Se cumple la esfericidad.

H₁ (alternativa): No se cumple la esfericidad.

Valor p

- Si W de Mauchley < 0,05, se rechaza H₀: no hay esfericidad.
- Si W de Mauchley ≥ 0,05, se acepta H₀: se asume esfericidad.

En este caso, se acepta la H_0 , ya que el valor de W de Mauchley es de 1,00 con lo que se determina que si se cumple con la prueba de esfericidad y por ende el ANOVA es correcto.

Tabla 11
Estimaciones bayesianas de medias de grupo

Variables dependientes	Estimaciones bayesianas de medias de grupo ^a				
	Moda	Media	Varianza	Límite inferior	Límite superior
Año	2015,50	2015,50	508,43	1971,31	2059,69
Pérdida	318,23	318,23	508,43	274,04	362,42

En base a la tabla N°11, se observa que tanto los valores de moda (valor probable de distribución) y media (valor promedio) son iguales con valores de 2015,50 y 318,23 lo que indica que la distribución posterior es simétrica. En cuanto a la varianza, mide la dispersión alrededor de la media, siendo que, 508,43 una variabilidad moderada tanto en los años como en la pérdida de bosque. El intervalo creíble del 95%, indica que para la variable año, el valor se encuentra entre 1971,31 y 2059,69, cubriendo el periodo de análisis, y en cuanto a la variable pérdida de cobertura boscosa, se estima que esta entre 274,03 y 362,42 hectáreas, con una media esperada de 318,23.

4.4. Discusiones

El análisis realizado sobre la pérdida de cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM) entre los años 2001 y 2023 revela una reducción progresiva en la deforestación, especialmente a partir del 2020. Se determinó una pérdida total de 8 293,27 ha, aunque con una tendencia decreciente en los últimos años, posiblemente por el fortalecimiento de políticas de conservación y control territorial. Este comportamiento coincide con lo señalado por Jiménez (2023) en la microcuenca Juninguillo, y por Mamani (2018), quien resaltó el valor del monitoreo con imágenes satelitales para evidenciar cambios de cobertura boscosa. Asimismo, estudios como el de Flores (2020) y Persaud (2021) confirman que el uso de herramientas de teledetección permite detectar con precisión los cambios antrópicos sobre el paisaje forestal, lo que respalda la metodología y los hallazgos del presente estudio.

En cuanto al estado actual de la cobertura boscosa del BPAM, se evidenció que un 87,02% del área permanece conservada, aunque existe un 4.56% que ha sido

transformado, principalmente por la expansión agrícola, urbana y otras actividades humanas. Esta situación se vincula con lo expuesto por Loayza (2020), quien identificó cómo las presiones sociales y económicas influyen en el cambio de uso del suelo y la dinámica de cobertura boscosa. Además, se observó una reducción poblacional en algunas zonas del BPAM, posiblemente debido a procesos migratorios, lo cual podría cambiar la presión sobre el bosque en el futuro. Estos resultados se relacionan también con García-Ramírez (2020), quien utilizó técnicas de clasificación como Random Forest para mapear coberturas y comprender mejor los efectos del crecimiento urbano y agrícola sobre los ecosistemas.

Finalmente, al proyectar la pérdida de cobertura boscosa al año 2030, se observó una tendencia decreciente en la tasa anual de deforestación, con una media de 318,23 ha por año. Esta proyección, sustentada mediante análisis de tendencias y ANOVA de medidas repetidas con enfoque bayesiano, demuestra evidencia estadística sólida de que los años influyen significativamente en la pérdida de bosque, aunque con alta dispersión de datos, lo que sugiere la presencia de factores externos adicionales. Este enfoque es coherente con lo aplicado por Loayza (2020) en su proyección del cambio de cobertura boscosa en áreas protegidas, y se relaciona con Mamani (2018) al considerar las implicancias del cambio de cobertura en el almacenamiento de carbono. Además, la combinación geoespacial y estadística fortalece la validez del modelo, tal como lo proponen Persaud (2021) y García-Ramírez (2020), quienes también utilizaron enfoques cuantitativos para modelar la dinámica forestal.

CONCLUSIONES

El análisis multitemporal realizado mediante clasificación supervisada y datos de Geobosques permitió identificar una pérdida acumulada de 8 293,27 ha de cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo entre 2001 y 2023. A pesar de ello, se observó una tendencia decreciente en la tasa de deforestación en los últimos años, especialmente del 2020 al 2023, lo cual sugiere una mayor eficacia en las acciones de control, vigilancia y conservación forestal. Sin embargo, también se evidenció un crecimiento en zonas urbanas y no boscosas, indicando un cambio en el uso del suelo que podría tener impactos significativos sobre los recursos hídricos y la dinámica ecológica del área.

Respecto al estado actual del BPAM, se determinó que el 87,02% del territorio aún se mantiene con cobertura boscosa, lo cual refleja una buena conservación del ecosistema. Sin embargo, el 4,56% de pérdida forestal observada está vinculada principalmente a actividades humanas como la expansión agrícola, la tala y el crecimiento urbano. Además, se identificó un 4,15% del área sin monitoreo, lo que evidencia una limitación importante en la precisión del análisis espacial. Estos resultados, junto con la reducción de población en algunas zonas, destacan la importancia de fortalecer el seguimiento continuo de la dinámica territorial y la cobertura vegetal.

La proyección de pérdida de cobertura boscosa al año 2030 muestra una disminución paulatina en la deforestación, con una media de pérdida anual estimada en 318,23 ha. El análisis mediante ANOVA de medidas repetidas con enfoque bayesiano confirmó que los años tienen un efecto significativo sobre la pérdida boscosa, aunque con alta dispersión, lo que refleja la influencia de factores adicionales como el cambio climático, la presión agrícola o las actividades ilegales. A pesar del comportamiento descendente proyectado, se concluye que la deforestación sigue siendo un riesgo latente para la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, lo que refuerza la necesidad de implementar estrategias sostenibles de uso del suelo y conservación.

RECOMENDACIONES

A las autoridades locales y nacionales, como el SERNANP, tomar medidas adecuadas para evitar la propagación de esta problemática. Esto implica optar por medidas de negociación que permitan llegar a un acuerdo positivo para la ecología del BPAM con las poblaciones involucradas.

A las instituciones competentes en el tema de la conservación, como la Autoridad Regional Ambiental - ARA: establecer un monitoreo continuo de la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM) utilizando tecnologías de teledetección. Este sistema debe identificar las causas de la deforestación y fortalecer las iniciativas de conservación y restauración. Además, es esencial involucrar a las comunidades locales en la gestión sostenible de los recursos forestales para garantizar la protección del bosque a largo plazo.

A los investigadores venideros y colegas de la Universidad Nacional de San Martín – UNSM, realizar un análisis de tendencias a largo plazo utilizando datos más granulares y específicos sobre la cobertura boscosa en el Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM). Esto podría incluir la implementación de un monitoreo anual o semestral de la cobertura boscosa a través de imágenes satelitales, lo que permitiría detectar cambios sutiles o patrones que no son evidentes en análisis más amplios. Además, sería beneficioso integrar métodos de análisis adicionales, como análisis de regresión, para evaluar factores externos que podrían estar influyendo en la dinámica de la cobertura boscosa, como el cambio climático, la actividad humana o fenómenos naturales. Esto proporcionaría un contexto más completo y facilitaría la formulación de estrategias de conservación y manejo sostenible del bosque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addison-Wesley. (1996). *academia.edu*. Obtenido de https://www.academia.edu/3381069/Tratamiento_digital_de_im%C3%A1genes
- ARABLE. (2020). Guía del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Obtenido de <https://www.arable.com/blog/guia-del-indice-de-vegetacion-de-diferencia-normalizada/>
- Arango, M., Branch, J., & Botero, V. (2005). CLASIFICACIÓN NO SUPERVISADA DE COBERTURAS VEGETALES VEGETALES SOBRE IMÁGENES DIGITALES DE SENSORES REMOTOS: LANDSAT – REMOTOS: “LANDSAT – ETM+” . Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914238003.pdf>
- Belmonte, A. (2009). *Repositorio digital UNC*. Obtenido de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/19?locale-attribute=es>
- Bonilla, D., y Tapia, J. (2021). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal a partir de la imagen satelital Sentinel-2 y Landsat-8 mediante el uso de algoritmos de clasificación, en la Reseva Ecológica El Ángel y Reserva Ecológica Arenillas. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20884>
- Chipman, J. (1976). *books google*. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=AFHDCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA30&dq=Remote+Sensing+and+Image+Interpretation.+John+Wiley+%26+Sons.+2da.+Edici%C3%B3n.&ots=0D#v=onepage&q&f=false>
- Garnica, C. (2019). *Repositorio La Molina*. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/2fe8b0f6-12c1-44f4-98dd-117d227bd38f>
- GEOBOSQUES. (2024). *Bosque y no bosque*. Obtenido de <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php?122345gxe345w34gg#download>
- GeoBosques. (2024). <https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php#download>.
- GeoInnova. (2021). ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica? Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>

- Gravi. (2022). *acolita*. Obtenido de <https://acolita.com/landsat-el-programa-de-imagenes-de-la-tierra-mas-antiguo/>
- GTZ. (2013). *Bosque de protección Alto Mayo*. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/159/BIV01164.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Janampa, S., y Ponce, J. (2022). Análisis multitemporal de la deforestación por imágenes satelitales en el distrito de Pangoa, Junín desde el año 2000 al 2020. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12239/4/IV_FIN_107_TE_Janampa_Ponce_2022.pdf
- Killen, P. (2015). *Clasificación supervisada*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/supervised-classification>
- Konko, Y. (julio de 2018). *scirp*. Obtenido de <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=85908>
- López-Montecinos, C. (enero de 2019). *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Lopez-Montecinos/publication/343295557_Fundamentos_Basicos_para_la_Teledeteccion_Ambiental/links/5f21e3c692851cd302c87695/Fundamentos-Basicos-para-la-Teledeteccion-Ambiental.pdf
- Maloy, G. (14 de marzo de 2023). *dewesoft*. Obtenido de <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>
- Mamani, F. (2018). *Maaproject*. Obtenido de <https://www.maaproject.org/synthesis3/>
- Mauchly, J. (1940). *Significance Test for Sphericity of a Normal n-Variate Distribution*. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2235878>
- Netiq.com. (2020). ¿Que es sentinel? Obtenido de <https://www.netiq.com/es-es/documentation/sentinel-81/install/data/b12ey5w9.html>
- Orntom. (1990). *horizon documentation*. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-11/43081.pdf
- PeruBirds. (2022). *Rutas/ Bosque de Protección del Alto Mayo (BPAM), San Martín*. https://perubirds.org/rutas_Bosque_de_proteccion_alto_mayo.shtml

- Puerta, R., Lannacone, J., & Reátegui, M. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/2913/291377795029/html/>
- Quezada, A. (2021). *dspace ups*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21455>
- Rutas-Alto-Mayo. (2020). *Rutas Alto Mayo*. Obtenido de <https://rutasaltomayo.com/bosque-de-proteccion-alto-mayo/>
- Ramos, C. (2021). Uso del factor Bayes durante el análisis estadístico: un ejemplo estadístico: un ejemplo. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5728/572868251002/html/>
- SERNANP. (01 de enero de 2019). *Gobierno del Perú*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sernanp/informes-publicaciones/1834052-bosque-de-proteccion-alto-mayo>
- USGSS. (2024). *arthExplorer*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- UVQ. (2020). *static uvq*. Obtenido de <https://static.uvq.edu.ar/mdm/teledeteccion/unidad-2.html>
- Vargas, C., Tello, B., & Rosel, A. (2023). *Monitoreo de bosque primario y purma usando imágenes de satélite Sentinel-2 en fincas de café*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/377657676_Monitoreo_de_bosque_primario_y_purma_usando_imagenes_de_satelite_Sentinel-2_en_fincas_de_cafe

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de pérdida de bosque, año 2005 al 2009 – BPAM



Anexo 2: Permisos



Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres
Año de la unidad, la paz y el desarrollo

Rioja, 16 de noviembre de 2023

Carta n° 107-2023-SERNANP-BPAMY

Srta. Maylen Emperatriz Rojas Ledesma
Investigador Responsable
Correo electrónico: mer1131293@gmail.com
Rioja

Asunto: Entrega de Constancia de recepción N°002 -2023-JBPAMY

Referencia: Solicitud sin número registro CUT N° 051136-2023

Me dirijo a Usted para saludarte cordialmente y al mismo tiempo manifestarle, en atención al documento de la referencia la Jefatura del Bosque de Protección Alto Mayo del SERNANP ha realizado la evaluación para el ingreso y efectuar la investigación con colecta denominado: **"Monitoreo de la Cobertura Boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo"** por el periodo de que nos indica contabilizando desde el diciembre 2023 a julio 2024.

Al respecto, se notifica la Constancia de Recepción N° 002 –SERNANP-JBPAMY Jefatura del Bosque, en cinco (2) folio para los fines señalados en la presente Constancia .

Durante la visita al BPAM, es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- Están prohibidas la recolección de flora y fauna Bosque de Protección Alto Mayo.
- Está prohibido tomar fotografías con fines de comercialización.
- Está prohibida arrojar cualquier residuo dentro del BPAM
- Respetar las normas relacionadas al BPAM
- No generar disturbios y/o altercados con la población local
-

Asimismo, se recuerda como compromiso entregar el informe final de la investigación en relación a la Resolución Presidencial N° 214-2021-SERNANP que se adjunta como conocimiento y fines.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para manifestarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

ING. SILVIA IVONNE PAICO VERA
JEFA BPAM
Servicio Nacional de Áreas Naturales
Protegidas por el Estado - SERNANP

C. c. Archivo.
Adjunto: Resolución Presidencial N° 214 -2021-SERNANP
Constancia de recepción: N°002-SERNANP-JBPAMY

Link <http://folderscd2.sernanp.gob.pe/index.php/s/wkRBoqk0KEYud5l>



**BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024**

Dirección: Jr. Carretera a Pósc-KM 01 Mz -47 LT-11 – Sector Nueva Rioja – Rioja.
Teléfono: (51 1) 717-7500
Email: bpaltomayo@sernanp.gob.pe
Web: www.gob.pe/sernanp
Mesa de partes virtual: <https://mesadepartesvirtual.sernanp.gob.pe/mpvi/#/auth>
Facebook: www.facebook.com/bpam.altomayo



Maylen Emperatriz Rojas Ledesma

Monitoreo de la cobertura boscosa del Bosque de Protección Alto Mayo - BPAM, mediante imágenes de satélite, San Martín ...

 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN - FECOL

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::3117:533277994

Fecha de entrega
26 nov 2025, 11:09 GMT-5

Fecha de descarga
26 nov 2025, 11:13 GMT-5

Nombre del archivo
Informe Maylen Titulación Original 30-10-25 OK..docx

Tamaño del archivo
2.5 MB

51 páginas

11.354 palabras

63.404 caracteres




13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.