

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**



TESIS

**“DELIMITACION DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO POR LA
EXPLOTACIÓN MINERA, EN EL SECTOR LA PAMPA – PUERTO
MALDONADO”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

**Bach. LETICIA ANEL DELGADO VALERA
Bach. YICELIA MAURA MAMANI MARIACA**

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“DELIMITACION DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO POR
LA
EXPLOTACIÓN MINERA, EN EL SECTOR LA PAMPA –
PUERTO
MALDONADO”**

Tesis sustentada y aprobada el 15 de diciembre de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Dr. RICHARD SABINO LAZO RAMOS

SECRETARIO : Msc. MARISOL MENDOZA AQUINO

VOCAL : Mag. MARCO NAVARRO GUZMAN

ASESOR : Ing. CARMEN ROSA ROMÁN ARCE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Yicelia Maura Mamani Mariaca y Leticia Anel Delgado Valera, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 72292896 y 71047326 respectivamente, así como Carmen Rosa Román Arce con DNI 42316863; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la *tesis* titulado: "Delimitación de la Degradación del Suelo por la Explotación Minera, en El Sector La Pampa – Puerto Maldonado, la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero de *Ambiental*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante a *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 15 de diciembre de 2023

Yicelia Maura Mamani Mariaca

DNI:72292896

Arce Carmen Rosa Roman

DNI: 42316863

Leticia Anel Delgado Valera

DNI: 71047326

DEDICATORIA

Con todo mi corazón, quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres. No existen palabras suficientes para describir el inmenso aprecio que siento por su infinito apoyo y cariño. Les dedico este gesto como una pequeña muestra de mi reconocimiento por todo lo que han hecho por mí, así como por los valiosos consejos y enseñanzas que me han brindado a lo largo de mi vida, los cuales han contribuido a mi desarrollo como una persona y profesional de bien.

A mis hermanos Arturo, Milvia, Rosita, Omar, Brenda y a mi sobrino Gonzalo por su apoyo incondicional en cada paso que doy y aliento por las veces que quise regresar a casa.

Gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

Leticia Anel Delgado Valera

DEDICATORIA

Atribuyo mi éxito y bienestar a la guía divina, la fortaleza que me ha brindado y la dirección que ha dado a mi vida colocándome en el camino correcto rodeado de las personas adecuadas.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis queridos padres, Sonia y Víctor, por su amor inquebrantable y su apoyo constante durante los momentos desafiantes. Valorando enormemente el gran sacrificio y esfuerzo que realizan para contribuir a mi desarrollo profesional, dedico este logro a su honor y agradecimiento.

Agradezco a mis hermanos Angie, Jhandel y Mathias por su cariño, apoyo y motivación que han sido fundamentales para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Mis logros seguramente llenarían de orgullo a mis abuelas, quienes desde el cielo velan por mí.

Yicelia Maura Mamani Mariaca

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi profundo agradecimiento a Dios, quien ha estado a nuestro lado en cada etapa de nuestro camino, fortaleciéndonos y guiándonos con claridad mental. Asimismo, agradezco a aquellas personas que han sido un apoyo invaluable y han compartido su compañía a lo largo de nuestro proceso de aprendizaje, puestas en nuestro camino por su gracia.

Quiero expresar mi agradecimiento sincero y especial a la Ing. Carmen Román Arce, nuestra asesora de tesis, por su apoyo invaluable e incansable que ha sido fundamental para el éxito de nuestro trabajo de investigación.

Gracias a nuestros maestros por su dedicación, consejos y enseñanzas que nos brindaron durante todo este proceso de alineación profesional ha sido una experiencia muy amena que pase por las aulas de la Universidad Privada de Tacna.

Leticia Anel Delgado Valera

Yicelia Maura Mamani Mariaca

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Justificación e Importancia	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis General.....	5
1.5.2. Hipótesis Específicas	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1. A nivel internacional	7
2.1.2. A Nivel Nacional	8
2.1.3. A nivel Local	8
2.2. Bases Teóricas.....	12
2.2.1. Explotación minera	12
2.2.2. Minería	13
2.2.3. Cobertura	14
2.2.4. Deforestación	15
2.2.5. Imágenes satelitales.....	16

2.3.	Definición de términos.....	19
2.3.1.	Explotación minera	19
2.3.2.	Cobertura vegetal en actividad minera	19
2.3.3.	Índice vegetación	19
2.3.4.	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	19
2.3.5.	Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).....	20
2.3.6.	Sistema de Información Geográfico (SIG)	20
2.3.7.	R studio	20
2.3.8.	Dron modelo Dji Mavic Air 2s	20
2.3.9.	Zona de Amortiguamiento	21
2.4.	Marco Normativo.....	21
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO		22
3.1.	Diseño de la investigación	22
3.2.	Acciones y actividades	22
3.2.1.	Análisis del tipo de cobertura.....	22
3.2.1.	Evaluación de la degradación de suelos.....	32
3.2.2.	Mapas temáticos	32
3.3.	Materiales y/o instrumentos.....	32
3.3.1.	Materiales.....	32
3.3.2.	Instrumentos.....	32
3.4.	Población y/o muestra de estudio.....	33
3.4.1.	Característica de la zona de estudio.....	33
3.4.2.	Población	33
3.4.3.	Muestra	36
3.5.	Operacionalización de variables	37
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	38
3.6.1.	Técnicas de campo	38
3.6.2.	Fase de campo.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		41
4.1.	Clasificación, pérdida y tasa de cobertura vegetal en degradación del suelo por la explotación minera, en el sector la pampa – Puerto Maldonado.....	41
4.1.1.	Combinación de bandas RGB	41
4.2.	Delimitación de la degradación del suelo.....	63

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	1
5.1. Discusión de Resultados con otras Investigaciones	1
CONCLUSIONES.....	3
RECOMENDACIONES	4
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
ANEXOS	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de clasificación de las imágenes satelitales	17
Tabla 2. Cronología del estado y funcionamiento de las imágenes Landsat.....	18
Tabla 3. Características de las bandas del satélite Landsat 8	18
Tabla 4. Meta-data de la información de las imágenes satelitales del catálogo de Landsat 8	23
Tabla 5. Combinaciones RGB usuales en imágenes Landsat 8	24
Tabla 6. Concesiones minera en la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata	35
Tabla 7. Operacionalización de variables de investigación	38
Tabla 8. Puntos de muestreo de la verificación en campo	39
Tabla 9. Reporte de clasificación no supervisada del sector La Pampa de la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata- Madre de Dios, periodos 2014, 2016,2018,2020 y 2022.....	43
Tabla 10. Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2014	47
Tabla 11. Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2016	48
Tabla 12. Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2018	50
Tabla 13. Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2020	51
Tabla 14. Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2022	52
Tabla 15. Puntos de muestreo con coordenadas en la zona de amortiguamiento	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de la Metodología de la Clasificación Supervisada	22
Figura 2. Fases de la Metodología de la Clasificación No Supervisada	27
Figura 3. Mapa de Ubicación de la Área Naturales Protegida de la Reserva Nacional de Tambopata	34
Figura 4. Ubicación de la Zona de Estudio	37
Figura 5. Imagen de Satélite Landsat, firmas espectrales en las bandas R (6) G (5) B (4); (a) zona minera la pampa, (b) Cuerpos de agua, (c) Zona de Malinosqui del año.41	41
Figura 6. Mapas de Clasificación no supervisada de la zona de amortiguamiento Tambopata - Madre de Dios, de los años 2014(A), 2016(B), 2018(C), 2020(D) y 2020(E).....	42
Figura 7. Análisis de la deforestación de la cobertura boscosa correspondiente al año 2018 del sector La Pampa de la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata- Madre de Dios.....	43
Figura 8 Análisis macro de la deforestación de los años 2014 (a), 2016 (b), en la zona de amortiguamiento de Madre de Dios.....	44
Figura 9. Análisis del estudio de deforestación de los años 2014, 2016, 2018 y 202044	44
Figura 10. Pérdida de bosque entre los años 2014 al 2022	45
Figura 11. Deforestación de la Análisis Multitemporal de la zona de amortiguamiento del Tambopata para los años 2014, 2016, 2018, 2020 y 2022	46
Figura 12. Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2014 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.	47
Figura 13. Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2016 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.	49
Figura 14. Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2018 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.	50
Figura 15. Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2020 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.	51
Figura 16. Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2022 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios	52
Figura 17. Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2014 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios.....	54

Figura 18. Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2016 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	55
Figura 19. Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2018 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	56
Figura 20. Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2020 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	57
Figura 21. Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2022 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	58
Figura 22. Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2014 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	59
Figura 23. Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2016 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	60
Figura 24. Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2018 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	61
Figura 25. Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2020 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	62
Figura 26. Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2022 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios	63
Figura 27. Validación de puntos de clasificación supervisada con Drone en la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa – Madre de Dios.....	1

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	10
Anexo 2: Validación en campo de la clasificación supervisada en zona de suelos mediante captura de drone.....	11
Anexo 3: Validación de vegetación punto registrado mediante drone.....	11
Anexo 4: Validación de vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa, registrado mediante drone.....	12
Anexo 5: Validación de erosión de suelo por explotación minera registrado mediante drone.....	12
Anexo 6: Disminución de vegetación para el uso de la actividad minera registrado mediante drone	13
Anexo 7: Validación vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa, registrado	13
Anexo 8 : Validación vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa, registrado	14
Anexo 9: Validación cuerpo de agua en la zona de amortiguamiento registrado mediante drone en el sector la pampa.....	14
Anexo 10: Cuerpos de agua en la zona de amortiguamiento de punto de muestreo en el sector la pampa.....	15
Anexo 11: Validación cuerpo de agua por la actividad minera registrado mediante drone.....	15
Anexo 12: Erosión de suelo mediante drone	16
Anexo 13: Manejo de drone para identificación de puntos de muestreo	16

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulada “Delimitación de la degradación del suelo por la explotación minera, en el sector La Pampa – puerto Maldonado” en un periodo de 5 años, entre los años pares desde el 2014 hasta el 2022. Cuyo objetivo principal fue delimitar la degradación del suelo por la explotación minera, en el sector la pampa – Puerto Maldonado. Los tipos de cobertura fueron: cobertura vegetal, degradación de suelos y cuerpos de agua. Utilizando técnicas de teledetección a través de un software especializado en información geográfica, ArcGis y Rstudio, los cuales nos permiten determinar la degradación del suelo por la explotación minera, en la Zona de Amortiguamiento en el sector La Pampa. La metodología se enfocó en delimitar la duración del suelo por la explotación minera; para lo cual se emplearon imágenes satelitales Landsat 8. Se aplicaron los métodos de clasificación supervisada y la clasificación no supervisada. La validación se realizó mediante visitas al sitio con observaciones de vuelos de drones para verificar los tipos de cobertura y su validación en imágenes del satélite Landsat 8, las cuales mostraron suficiente separación espectral en cada área de cobertura. Al finalizar este estudio, es muy importante desarrollar el procesamiento de imágenes satelitales para obtener 3 índices ambientales NDVI, SAVI y NDWI. para los puntos en la zona de Amortiguamiento en el sector la Pampa, esto permitió conocer diferentes aspectos como la cobertura vegetal, cuerpos de agua y la degradación de suelos, con la cual se ha logrado representar en el espacio geográfico con áreas en Hectáreas. Finalmente, concluimos que el índice de calidad ambiental está fuertemente relacionado con el aumento de tierras degradadas por la minería informal.

Palabras claves: Imágenes Satelitales; ArcGIS; Rstudio; Minería informal; Degradación del suelo

ABSTRACT

The present research work entitled "Delimitation of soil degradation due to mining exploitation in the La Pampa - Puerto Maldonado sector" covers a period of 5 years, from 2014 to 2022, focusing on even-numbered years. The main objective was to delimit soil degradation caused by mining exploitation in the La Pampa - Puerto Maldonado sector. The types of coverage considered were vegetative cover, soil degradation, and water bodies. Teledetection techniques were employed using specialized geographic information software, ArcGIS and Rstudio, to determine soil degradation resulting from informal mining practices in the La Pampa sector. The methodology focused on delineating soil duration due to mining exploitation, utilizing Landsat 8 satellite images. Both supervised and unsupervised classification methods were applied. Validation was carried out through field visits with drone flight monitoring to verify coverage types, confirming their alignment with Landsat 8 images, which demonstrated adequate spectral separation for each coverage type. The most crucial aspect of this research was the processing of satellite images, from which three environmental indices (NDVI, SAVI, and NDWI) were obtained for points within the Buffer Zone of the Tambopata National Reserve. This allowed for insights into various aspects such as vegetative cover, water bodies, and soil degradation, represented in geographical space in hectares. In conclusion, a high correlation was found between environmental quality indices and the growth of soils degraded by informal mining exploitation.

Keywords: Satellite Images; ArcGIS; Rstudio; Informal Mining; Soil Degradation

INTRODUCCIÓN

La presente investigación “Delimitación de la degradación del suelo por la explotación minera, en el sector La Pampa – Puerto Maldonado”, aborda el problema en relación al incremento de la deforestación de bosques por explotación de minería informal e ilegal, que existe dentro de la zona de amortiguamiento en el sector la pampa. La degradación del suelo es una variable, en la que abarcamos las diferentes dimensiones de Índice de calidad ambiental en la que se brinda información sobre la vegetación, los cuerpos de agua y erosión de suelos, por lo que permite conocer, evaluar el estado y variación de la calidad ambiental.

Actualmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen herramientas, tecnologías o sistemas que respaldan la toma de decisiones en diversas instancias de la sociedad. Estos sistemas posibilitan la estructuración y visualización de información espacial dentro de un contexto geográfico, incluyendo características topográficas, uso del suelo, entre otros aspectos. Además, permiten la ubicación y visualización eficiente de esta información de manera rápida y sencilla. Entre las utilidades de los SIG se encuentran la observación remota de superficies, análisis de patrones, entre otras funciones. Estas herramientas presentan ventajas significativas en términos de costos, insumos y tiempo de preparación, lo que las convierte en recursos eficaces para la gestión de información geoespacial.

Por tanto, este estudio tiene como objetivo: Analizar por medio de las imágenes satelitales, el tipo de cobertura en las zonas afectadas por la explotación minera. Una vez obtenida la información y datos, demostrar mediante los mapas temáticos los niveles de degradación del suelo, haciendo uso del Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) y el Índice de Vegetación Ajustado al suelo (SAVI) para verificar las áreas deforestadas.

Esta tesis consta de cinco capítulos: El Capítulo 1 contiene la formulación del problema, el objetivo e hipótesis, la descripción del problema y la significación del estudio. El capítulo 2 explica el marco teórico, seguido de los fundamentos teóricos y las definiciones de conceptos clave. El Capítulo 3 describe el marco metodológico e identifica el tipo y diseño de la investigación, la población, el procesamiento y análisis de datos. El Capítulo 4 presenta conclusiones basadas en los métodos y/o técnicas

utilizadas para realizar la investigación. El capítulo 5 analiza las hipótesis y los resultados.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En la actualidad el departamento de Madre de Dios se ha visto muy afectada por la explotación minera informal e ilegal. También por la carencia de interés por parte de los habitantes en la preservación y conservación del estado natural de los bosques es prácticamente inexistente. El incremento en el uso del bosque persiste debido al cultivo de diversas especies de flora, así mismo, en las últimas décadas, ha sido notorio el declive progresivo de la cobertura vegetal debido a la actividad extractiva.

Por el acelerado ritmo de deforestación, que en algunos lugares se manifiesta de manera alarmante, ha resultado en una destacada pérdida de cobertura vegetal, provocando en algunos casos cambios drásticos en el uso del suelo. Este fenómeno se atribuye al crecimiento demográfico, la fragilidad de sectores productivos alternativos y la ausencia de vigilancia y control por parte de las autoridades competentes.

En el sector La Pampa, es una de las zonas que se ha registrado mayores cambios significativos en la cobertura, durante la última década, mayormente atribuibles a la explotación por la minería informal e ilegal. Este fenómeno ha desencadenado procesos de deforestación y degradación del suelo. Además, ha generado problemáticas socioambientales que impactan la tenencia de áreas destinadas a fines agrícolas, forestales, reforestación, ecoturismo, y conservación. Estas afectaciones abarcan territorios de comunidades nativas y Áreas Nacionales Protegidas como la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata. Dando lugar a conflictos sociales, trata de personas, y cuestiones relacionadas con la salud pública, entre otros aspectos colaterales asociados a dicha actividad. A tales efectos, se pretende demostrar los cambios de cobertura de bosque a deforestación entre los años 2014, 2016, 2018, 2020 y 2022. Así mismo, es necesario analizar aquellas variables más trascendentales a la hora de demostrar la deforestación, para determinar cuáles son las más predominantes en esos procesos de cambio.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo determinar la degradación del suelo por el aprovechamiento informal de la minería, en el sector La Pampa – Puerto Maldonado?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las zonas afectadas por la explotación minera?
- b. ¿Cómo determinar el estado actual de la degradación del suelo por la explotación minera?
- c. ¿Cuáles son los impactos de la degradación del suelo por la explotación minera?

1.3. Justificación e Importancia

La zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata en la región de Madre de Dios en el sector la Pampa (área de estudio) es una de las áreas más afectadas por la minería ilegal. Esta zona de 162 742.32 hectáreas limita con la reserva y alberga a más de 1500 familias de flora y fauna. Por ser una de las localidades con una economía basada en la minería aurífera, forestal, agrícola, ganadera y en tipos de suelo con limitaciones físicas y químicas, motivo por el cual paulatinamente las áreas mineras y agrícolas se están desplazando hacia las áreas de cultivo de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), iniciando el proceso de cambios de distribución y pérdida de hábitat de especies nativas.

Este trabajo abarca: corrección radiométrica y composición de bandas de cada imagen satelital, desarrollo de algoritmos y cálculo de NDVI, NDWI y SAVI utilizando programas como ArcGIS y RSTUDIO, que son la base para la obtención de los resultados. También desde el punto de vista económico, la encuesta se justifica porque se realiza mediante ordenadores portátiles y será supervisada para verificar la información procesada in situ.

El propósito de la presente investigación es realizar un estudio en este ámbito que nos permita demostrar la degradación del suelo por la explotación minera informal e ilegal en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata en el sector la pampa con el uso de las fotografías con drone y las

imágenes de satélites para para medir los cambios en la cubierta y el uso del suelo, así como para elaborar mapas de la cobertura del suelo y que con el uso de las herramientas cartográficas avanzadas constituye un aporte para para una planificación integrada para el uso sostenible de los recursos naturales.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Delimitar la degradación del suelo por la explotación minería, en el sector la pampa – Puerto Maldonado.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a. Analizar por medio de las imágenes satelitales, el tipo de cobertura, las zonas afectadas por la explotación minera.
- b. Evaluar la calidad actual de la degradación del suelo por la explotación minera.
- c. Elaborar mapas temáticos de los niveles de degradación del suelo.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Es posible delimitar la duración del suelo por la explotación minera, en el sector la pampa – Puerto Maldonado

1.5.2. Hipótesis Específicas

- a. Existen zonas afectadas por la explotación minera en el sector la pampa – Puerto Maldonado

- b. Es posible observar el estado actual de la degradación del suelo por la explotación minera en el sector la pampa – Puerto Maldonado
- c. Es posible determinar los niveles de degradación del suelo por la explotación minera en el sector la pampa – Puerto Maldonado

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Cantero et al. (2015) en un estudio titulado “Determinación de la degradación de suelos durante la minería de oro aluvial en las riberas del río San Pedro, Puerto Libertador, Córdoba, Colombia”. El propósito fundamental de esta investigación consistió en realizar un análisis cualitativo para determinar el nivel de degradación de la tierra en la zona de estudio. Para alcanzar este objetivo, se empleó un método particular que permitió recopilar información sobre las áreas más afectadas por la extracción de oro aluvial en la región. El objetivo principal de esta investigación fue identificar 12 zonas que han experimentado la intervención de la minería aurífera aluvial, de las cuales 3 todavía se encuentran activas mientras que las restantes han sido abandonadas. Entre las recomendaciones planteadas, se destaca la sugerencia de proponer e implementar tecnologías que ayuden a mitigar los efectos adversos de la minería en el suelo.

Asimismo, Mejía (2016), en la investigación "Estudios Analíticos de Largo Plazo mediante Sensores Remotos sobre la Degradación de la Vegetación por Tala Ilegal en el Bajo Cauca, Antioquia". El objetivo primordial de esta investigación consistió en emplear técnicas de teledetección para examinar la pérdida de cobertura vegetal causada por la extracción ilegal de oro a gran escala durante un lapso de 30 años. Para cumplir con esta meta, se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT capturadas en dos momentos distintos, en 1986 y en 2016. Inicialmente, se identificaron las zonas destinadas a la actividad minera, lo cual fue posible gracias a la existencia de áreas adyacentes a los ríos, donde se presume que se encuentra el oro, y donde la vegetación es predominante. Este procedimiento permitió evaluar tanto la evolución temporal como espacial de la pérdida de vegetación, así como cuantificar los cambios en la cobertura, lo que incluyó un aumento del 7,9% en la concentración de minerales en el suelo dentro del área de estudio. Además, se sugirió el empleo del software PCI Geomática 2014 para llevar a cabo un procesamiento eficaz de las imágenes obtenidas.

2.1.2. A Nivel Nacional

Así mismo Kenedy et, al. (2022), el estudio titulado "Deforestación en el Corredor Minero de la Amazonia Peruana (2021-2021)". El objetivo principal de esta investigación consistió en identificar la extensión total de la deforestación, utilizando el proceso de LandTrendR que emplea un algoritmo de segmentación temporal para detectar los cambios en los valores de los píxeles a lo largo del tiempo. Para lograr este propósito, se implementó una metodología que implicó la separación manual de la pérdida de bosques debido a la actividad minera y otras causas extremas, durante los años 2021 y 2022, con el fin de proporcionar una descripción precisa de los impactos generados por esta actividad. Se recomienda llevar a cabo análisis detallados para determinar cómo ha evolucionado la degradación del suelo en los últimos años.

2.1.3. A nivel Local

Según Barba, (2018), el estudio titulado "Análisis prospectivo del proceso de deforestación en el sector la pampa – guacamayo, Tambopata – Madre de Dios, periodo 1999 al 2030". El objetivo principal es examinar y prever los cambios en el paisaje debido a la deforestación en la región de La Pampa durante los años 1999, 2011, 2016 y proyectados hasta el 2030. Para lograr este fin, se aplicó una metodología descriptiva que permitió analizar distintos escenarios futuros dentro de los intervalos de tiempo establecidos. En el proceso de evaluación, se utilizaron imágenes del satélite Landsat TM 5 correspondientes a los años 1999 y 2011, así como imágenes del sensor OLI correspondientes al año 2016. Estas imágenes, basadas en el Sistema Geodésico Mundial (datum WGS 84), se seleccionaron considerando su disponibilidad sin nubosidad durante la estación seca, que abarca desde junio hasta septiembre. Como resultado de este análisis, se concluyó que para el año 2030 se espera un aumento en la pérdida de bosque de 25,091.37 hectáreas, lo que representa un incremento de 8,052.08 hectáreas en comparación con el año 2016, en un período de 17 años. En cuanto a los cambios en la cobertura del suelo, se destaca que la conversión más significativa de bosque a deforestación ocurrió durante el período 2011-2016 (5 años), con un total de 9,469.71 hectáreas, seguido por el período 2016-2030 (14 años) con 12,980.33 hectáreas. Al analizar los cambios globales entre 1999-2016 y 2016-2030, se observa que este último período presenta

una mayor conversión de bosque a deforestación, alcanzando las 23,335.40 hectáreas.

Según el estudio de Cerón et al. (2021), denominado “Deforestación por actividades mineras en la Provincia de Madre de Dios, Perú, del 2000 al 2017”. El propósito fundamental de este estudio consiste en recopilar los datos más recientes acerca del estado de los bosques en la región de Madre de Dios. Para llevar a cabo este objetivo, se emplearon imágenes de satélite Landsat 5 y Landsat 8 con el fin de identificar la deforestación causada por actividades mineras. Como resultado de este análisis, se observó que las operaciones mineras ocuparon una extensión mayor entre los años 2000 y 2017, alcanzando un total de 47,657 hectáreas. Entre las recomendaciones planteadas para investigaciones futuras, los autores sugirieron una técnica que permita identificar y medir de manera directa la deforestación en la región.

Según Nalvarte & Mamani, (2021) titulado el “Análisis espacio temporal del uso de suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite Landsat en la microcuenca Manuripe-Madre de Dios, períodos 2004 - 2020”. El objetivo fue evaluar la distribución espacial del uso del suelo en las concesiones de castaña ubicadas en la microcuenca del río Manuripe, en los Departamentos de Tambopata y Tahuamanu, en Madre de Dios. Este análisis se realizó utilizando imágenes satelitales Landsat desde el año 2004 hasta el 2020. Los resultados revelaron una pérdida mínima de cobertura forestal en el área de estudio, estimada en 9,435.12 hectáreas en un lapso de 17 años, en comparación con otras áreas de la región de Madre de Dios, así como otras regiones amazónicas del Perú y de la cuenca amazónica en general. En cuanto al cambio en la cobertura y uso del suelo, se observó que, en ese mismo periodo, 4,681.36 hectáreas de bosque se transformaron para usos agrícolas. La agricultura y la construcción de infraestructuras de acceso fueron identificadas como las principales causas de la pérdida de cobertura forestal en la microcuenca del río Manuripe (Madre de Dios). Sin embargo, en el área de estudio, la agricultura emergió como la principal causa de la conversión del bosque.

La investigación de Tapia et al. (2021) se titula “Impactos de la minería de oro aluvial y la degradación de la superficie forestal en las zonas de La Pampa y Guacamayo Madre de Dios, 2021”. Tiene como objetivo principal analizar el efecto de la minería de oro aluvial en la degradación forestal durante el año 2021 en las áreas de La Pampa y Guacamayo en la región de Madre de Dios. Para llevar a cabo este

estudio, se emplearon diversas herramientas y técnicas, incluyendo imágenes satelitales Landsat 8 correspondientes a los años 2005, 2010, 2015 y 2021, así como dispositivos como cámaras, drones y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), junto con software especializado como ArcGIS 10.3, matriz Leopold y el programa estadístico SPSS 26 para la recolección y análisis de datos.

Estas herramientas posibilitaron una evaluación precisa de la calidad del suelo en el área de estudio, así como la identificación y cuantificación de los impactos sobre la vegetación forestal en todas las etapas de las operaciones mineras. Los resultados obtenidos revelaron deficiencias significativas en la calidad del suelo en el área de estudio, así como un impacto notorio de la deforestación a lo largo del tiempo. Se evidenciaron impactos adversos durante los periodos de actividad minera, indicando una degradación forestal considerable en el sector de La Pampa y Guacamayo. Estas conclusiones se sustentan en la evaluación de los datos recopilados en Madre de Dios en los años 2005, 2010, 2015 y 2021 en comparación con los datos de esos mismos años. Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de abordar los problemas de conservación de los recursos naturales en el contexto de las actividades extractivas, y tendrán un impacto significativo en la toma de decisiones y en la gestión ambiental en el área.

Según Velásquez (2021), el estudio "Mercurio en Suelos de Áreas Degradadas por la Minería Aurífera Aluvial". El objetivo principal es implementar técnicas de biorremediación y remediación en suelos contaminados con mercurio, un subproducto frecuente de la minería ilegal. Para alcanzar este propósito, se enfoca en dos fuentes primarias de contaminación: la maquinaria pesada, que contribuye al 35% de la degradación del suelo, y las bombas eléctricas, responsables de aproximadamente el 95% de la contaminación. Se emplean datos recopilados de las operaciones mineras de oro. Se llevaron a cabo análisis comparativos de la contaminación del suelo en minas en funcionamiento durante períodos que oscilaban entre cinco y ocho años. Como recomendación, se destaca que las legumbres son un componente crucial de los cultivos de cobertura que deben incorporarse para mejorar la salud de los suelos recuperados y degradados.

Según Cárdenas et. Al. (2022) en su estudio titulado "Cuantificación Espacial de la Vegetación y Suelo Desnudo en el Corredor Minero de Madre de Dios en el Año 2018". El objetivo principal fue determinar y verificar el área de vegetación y suelo expuesto utilizando imágenes de alta resolución espacial del corredor minero en dicho

año. Para lograr este propósito, llevaron a cabo una delimitación espacial del área del Corredor Minero de Madre de Dios, lo que permitió la evaluación temporal de la cuantificación e identificación de los cambios ocurridos en cada periodo. Es importante destacar que, debido a las lluvias en la región de Madre de Dios durante los meses de octubre a mayo, el estudio no pudo realizarse en ese lapso. Los resultados obtenidos revelaron un aumento significativo en el área de suelo desnudo, enfatizando la importancia de implementar un sistema de monitoreo y vigilancia de la cubierta terrestre utilizando el satélite PeruSat-1 y sus recursos. El análisis estadístico se llevó a cabo mediante la combinación de estadística descriptiva e inferencial utilizando datos satelitales de alta resolución de PlanetScope correspondientes al año 2018, obtenidos con una resolución de 3 metros por píxel. Esto permitió una cuantificación precisa de la pérdida de vegetación (suelo desnudo) causada por la minería de oro y otras actividades humanas en la zona de estudio, este estudio proporciona datos valiosos sobre el impacto de la minería en el paisaje y el medio ambiente del Corredor Minero Madre de Dios en el año 2018. Los resultados resaltan la necesidad de implementar medidas apropiadas de conservación y restauración para mitigar los impactos negativos sobre la vegetación y el suelo en esta área de importancia crítica.

Según Alva et al., (2023), Denominado “Deforestación en Madre de Dios: Un infierno para la biodiversidad”. El presente estudio utilizó una metodología cualitativa, que nos motivó a adoptar un pensamiento orientado hacia la observación de datos y optar por un diseño de investigación descriptivo, no experimental y de revisión sistemática, con el fin de analizar las investigaciones ya existentes y sintetizar la información científica relevante. En la recopilación de datos se utilizaron métodos de análisis de documentos. Se realizó una investigación exhaustiva de estudios científicos, se analizaron artículos publicados en revistas indexadas y se examinaron bases de datos de investigaciones científicas en relación a los centros terminológicos “Deforestación en Madre de Dios” y “Pérdida de biodiversidad en Madre de Dios”, como Google Scholar, Scielo, Scopus, IOPciencia. La información recopilada, agregada y estructurada medida en el área de búsqueda de 1999 a 2021 muestra que el 49% del área total perdida en la cobertura forestal de Madre de Dios está fuera del área de concesión. La actividad minera está vinculada a la extracción ilegal de oro u otras causas como la urbanización, la agricultura, la tala y la ganadería.

Así mismo, Quispe et al (2023) el estudio titulado “Análisis espacial de cuerpos de agua generados por la deforestación en la zona la pampa para el año 2022, Madre

De Dios". El objetivo principal de este proyecto de investigación en 2022 fue evaluar espacialmente los cuerpos de agua en la propiedad minera. Para lograr este propósito, se comparó la precisión del mapeo de cuerpos de agua utilizando imágenes capturadas por el satélite Sentinel 2 y se emplearon imágenes de drones para analizar y cuantificar estos cuerpos de agua. En el análisis se utilizó el software ArcGIS Pro para realizar análisis estadísticos, aprovechando las herramientas Create Confusion Matrix y Kappa Index. Se consideraron un total de 12 bandas espectrales durante el proceso. Además, se evaluaron cuatro procesos relacionados con la tasa de cambio forestal neto: la reducción debida a la deforestación, la disminución por desastres naturales, el aumento debido a la forestación y la expansión a causa de la deforestación. Los resultados de la investigación revelaron que, de las 8323,3 hectáreas de terreno desnudo en la zona minera de La Pampa, se estima que 5080,9 hectáreas se convertirán en cuerpos de agua para el año 2022, lo que representa alrededor de 1000 hectáreas de cuerpos de agua. Se observó que el 37,9% de la superficie fue talada durante ese año.

2.2. Bases Teóricas

Las bases teóricas están en base a las variables propuestas en la investigación y parte de la metodología.

2.2.1. Explotación minera

De acuerdo a Osore et al., (2012) La región de Madre de Dios es conocida por sus altos niveles de minería ilegal de oro, y su expansión está vinculada a la migración desordenada de un gran número de habitantes andinos que llegan a esta parte del país, sumándose a los miles de mineros no oficiales que ya se encuentran en la zona. Se estima que el 90% de la minería es ilegal o informal. Esto se manifiesta en una mayor pérdida y deforestación de bosques, contaminación de los ríos y otras amenazas relacionadas. La campaña es también un signo de salud pública, ya que el uso de mercurio puede contaminar los cuerpos de agua, afectando especialmente a las personas que trabajan en los campamentos mineros, así como al pescado utilizado como alimento y a las personas en general.

De acuerdo al Centro de Estudios sobre Minería y la Sostenibilidad, (2020) la minería es actualmente la parte más importante de la economía de la región de Madre de Dios: el oro representa el 66,8% de las exportaciones de la región, superando al sector agrícola (26%) y al sector maderero (7,1%). Según diversos estudios

nacionales e internacionales, el sector la Pampa presenta el mayor número de minería ilegal del país. En años anteriores, las concesiones de replantación agregaron 1.685 hectáreas de bosque a la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata.

2.2.2. Minería

Primero revisaremos los estratos de la minería Formal

a. Minería artesanal

Se refiere al uso de métodos y técnicas básicos para la extracción de minerales, generalmente por parte de un pequeño grupo de trabajadores locales, la minería artesanal es "una actividad económica que implica la extracción de minerales a pequeña escala, generalmente manual o semi-mecanizada, por parte de particulares o pequeñas empresas.

b. Minería aurífera aluvial

La minería de oro aluvial se refiere al uso de técnicas de minería a pequeña escala para extraer oro de depósitos aluviales como ríos y arroyos. La minería de oro aluvial es "el uso de tecnología y equipos de bajo costo para extraer depósitos de oro que se encuentran en canales y terrazas de ríos con una inversión mínima según el (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - IIAP & Ministerio del Ambiente, 2011).

c. Minería informal

Se refiere a actividades mineras que no cumplen con las reglas, regulaciones, estándares técnicos y legales establecidos por el gobierno para garantizar la seguridad, la protección ambiental y los derechos económicos y de los trabajadores por las actividades mineras. En muchos casos, la minería informal se caracteriza por la falta de permisos, la falta de capacitación, equipos inadecuados, el uso de niños, mano de obra no calificada, la falta de impacto ambiental y social Torres, (2015)

d. Minería ilegal

La minería ilegal se refiere a actividades que ocurren sin la autorización adecuada o en violación de las leyes y regulaciones nacionales aplicables. Estas actividades, a menudo llevadas a cabo por grupos criminales, tienen una serie de consecuencias ambientales, económicas y sociales negativas.

De acuerdo al informe de la Oficina de las Naciones Unidas, (2011), se define la minería ilegal como la extracción de minerales mediante métodos y procesos que no cumplen con la legalidad, o sin la licencia o permiso gubernamental requerido. Este informe también subraya que la minería ilegal a menudo está vinculada con la violencia, la corrupción, la explotación de la mano de obra y el deterioro del entorno ambiental.

2.2.3. Cobertura

Según la normativa del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2015), las áreas forestales o de replantación son aquellas con cubierta forestal baja o cubierta radicular dañada, de las cuales se ha eliminado el 70%. Estas áreas pueden ser el foco de programas de forestación o reforestación con fines de producción o conservación debido a sus características fisiológicas de corta duración y beneficios sociales. Se ha resaltado la importancia de proteger los árboles para mantener la armonía del medio ambiente y el crecimiento de diversas actividades.

Chuvieco, (1995), nos habla de los índices de calidad ambiental como:

- a.** Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Se pueden utilizar diferentes bandas espectrales para medir la intensidad de la radiación de la vegetación y determinar aspectos como la cantidad, el desarrollo y la calidad de esa vegetación.
- b.** Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). Los métodos de proyección de reflectancia a 0,86 μm y 1,24 μm pueden obtener información sobre el estrés hídrico de la vegetación. Eliminando los cambios en la materia seca observados en los tejidos vegetales se puede estimar la cantidad de agua en la vegetación.

2.2.4. Deforestación

Según Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2015). Los bosques abarcan aproximadamente el 60% de la superficie total de nuestro país. En el período comprendido entre 2001 y 2019, el Perú lamentablemente ha experimentado la pérdida de 2,4 millones de hectáreas de bosques amazónicos, lo que equivale a un promedio de 128 000 hectáreas deforestadas cada año. En particular, en el departamento de Madre de Dios, los bosques se ven afectados por la extracción selectiva y constante de maderas duras y blandas, lo que ha conducido a cambios en los hábitats naturales y a una notable disminución de la biodiversidad.

Esta problemática de la deforestación tiene impactos negativos multifacéticos, incluyendo la pérdida de diversidad biológica, consecuencias en la sostenibilidad de las formas de vida de las comunidades indígenas, y una aceleración del cambio climático.

Se refiere al proceso de eliminación de árboles y la degradación de bosques en un área específica, ya sea causado por actividades humanas o eventos naturales como incendios forestales. Al alterar el ciclo hidrológico, provocar erosión del suelo y emitir gases de efecto invernadero, este proceso puede tener un impacto negativo en el medio ambiente. También puede degradar los hábitats de animales y plantas.

a. Deforestación por actividad minera

La deforestación resultante de la minería es la eliminación de árboles y bosques para extraer minerales. Los cambios en los ciclos hidrológicos, la erosión del suelo y la pérdida de hábitats de animales y plantas son sólo algunos de los efectos que estas actividades pueden tener en el medio ambiente.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (2016) "La actividad minera a menudo se asocia con la deforestación y la degradación del bosque". Este informe señala que la deforestación por actividad minera a menudo se produce en países en desarrollo, donde los marcos legales y reglamentarios son débiles y la supervisión y el cumplimiento son limitados.

b. Degradación de suelo.

La degradación del suelo se refiere a la disminución de la calidad y la capacidad productiva del suelo debido a la erosión, la compactación, la contaminación, la salinización, la acidificación y otros factores. La deterioración del suelo puede generar impactos desfavorables en la producción agrícola, la biodiversidad y la calidad del agua. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la pérdida de la capacidad de la tierra para producir alimentos y otros beneficios resultantes de su capacidad para controlar los procesos ambientales se denomina degradación de la tierra. Además, la pérdida de biodiversidad es un factor importante en la desigualdad de género y la inseguridad alimentaria y se ve exacerbada por la degradación de la tierra.

c. Niveles de degradación de suelo

Los niveles de degradación del suelo se refieren a la clasificación de la degradación del suelo en diferentes grados o categorías, según la intensidad y el impacto de los procesos de degradación. Esta clasificación es útil para identificar áreas críticas de degradación del suelo y para diseñar estrategias de manejo y conservación del suelo. Existen diferentes sistemas de clasificación del grado de degradación del suelo, algunos basados en la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, mientras que otros utilizan criterios más amplios como pérdida de productividad, erosión y compactación. Según la FAO, la degradación de la tierra se puede dividir en cuatro categorías: leve, moderada, grave y muy grave. Esta clasificación se basa en la disminución de la productividad de la tierra y la disminución de su función ambiental.

2.2.5. Imágenes satelitales

Existen diferentes sistemas de clasificación del grado de degradación del suelo, algunos basados en la evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo, mientras que otros utilizan criterios más amplios como pérdida de productividad, erosión y compactación

Se crean a partir de matrices donde cada celda representa un píxel y su tamaño depende del valor espacial del sensor. Registran la radiación

electromagnética de diferentes áreas de cobertura y almacenan el rango de longitudes de onda captadas por cada píxel según la programación del sensor. Según Artola, (2019) nos dice que la tecnología de clasificación de imágenes permite transformar imágenes sin procesar, como imágenes aéreas y satelitales, en datos temáticos o mapas que muestran información claramente. Aunque existen varias técnicas para realizar estas clasificaciones, la calidad de los resultados producidos a menudo está influenciada y determinada por la experiencia y el conocimiento del analista que realiza el trabajo. A la hora de clasificar imágenes es necesario comprender un conjunto de técnicas automáticas que se pueden clasificar o agrupar en dos técnicas según se muestra en la tabla 1:

- a. La clasificación supervisada en función de las clases de información.
- b. La clasificación no supervisada basada en el análisis de valores espectrales similares.

Tabla 1

Métodos de clasificación de las imágenes satelitales

Supervisada	No supervisada
Se indica al programa la clase de cobertura terrestre que corresponde a distintos píxeles de la imagen, es decir, crearemos muestras representativas con varios píxeles de la imagen para cada clase de cobertura terrestre.	Los píxeles que pertenecen a la misma categoría deben tener valores espectrales similares, y estos valores están relacionados con la relativa importancia del color, tono o agrupamiento. Es esencial mantener la coherencia espectral en una misma clase, ya afectar la precisión de la clasificación.
Se indicará que los píxeles azul claro son cuerpos de agua marcándolas en la imagen y luego indicar que los píxeles verdes oscuro corresponden a la cobertura. Al final, seguiríamos este proceso, hasta indicar dentro de la imagen, todos los sitios representativos y conocidos por nuestras salidas de campo como los puntos de muestreo para la clasificación.	

Nota. Clasificación de las técnicas de clasificación de teledetección (Monterozo, 2019).

La Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) estableció el primer programa dedicado a observar los recursos de la Tierra a finales de la década de 1960, lo que llevó al lanzamiento del primer satélite de la NASA en órbita en marzo de 1972. Serie ERTS (Tecnologías de Recursos Terrestres). El programa Landsat, que lleva a cabo misiones satelitales de observación de la Tierra, está gestionado conjuntamente por el Servicio Geológico de Estados Unidos y la NASA. (Tabla 2).

Tabla 2
Cronología del estado y funcionamiento de las imágenes Landsat

Satélite	Fecha de lanzamiento	Fin de operación
Landsat 1	23-07-1992	05-01-1978
Landsat 2	22-01-1975	27-07-1983
Landsat 3	05-03-1978	07-09-1993
Landsat 4	16-06-1982	14-12-1993
Landsat 5	01-03-1984	30-11-2011
Landsat 6	03-10-1993	Lanzamiento fallido
Landsat 7	15-04-1999	Activo
Landsat 8	11-02-2013	Activo

Nota. Se presenta el lapso en que el satélite Landsat estuvo en operación, como se indica en la fuente (NASA, 2007).

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, 2013) afirma que: Los datos de nueve bandas espectrales (bandas 1 a 7 y banda 9) son recopilados por el generador de imágenes terrestre activo (OLI) y el sensor infrarrojo térmico (TIRS) con una resolución espacial de 30 metros. La nueva banda (1) se puede utilizar para el análisis de zonas costeras y aerosoles, mientras que la banda (9) es adecuada para la detección de cirros.

Además, los canales térmicos 10 y 11 tienen una resolución de 100 metros mientras que la banda 8 (pancromática) tiene una resolución de 15 metros. Según se muestra la Tabla 3:

Tabla 3
Características de las bandas del satélite Landsat 8

Bandas	Longitud de Onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 – Aerosol costero	0,43 – 0,45	30
Banda 2 - Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 - Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 – Rojo	0,64 – 0,67	30
Banda 5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0,85 – 0,88	30
Banda 6 – SWIR 1	1,57 – 1,65	30
Banda 7 – SWIR 2	2,11 – 2,29	30
Banda 8 - Pancromático	0,50 – 0,68	15
Banda 9 – Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10 – Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10,60 – 11,19	100 (30)
Banda 11 – Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11,50 – 12,51	100 (30)

Nota. Se exhibe las especificaciones de las distintas bandas del satélite Landsat 8, en la que las bandas TIRS se obtienen originalmente con una resolución de 100 metros, no obstante, son re-muestreadas para una resolución de 30 metros (USGS, 2013).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Explotación minera

La minería afecta y destruye en gran medida el terreno natural al mover grandes cantidades de material, crear pozos y vertederos, alterar el terreno y cambiar las propiedades del suelo.

Una evaluación exhaustiva de los procesos mineros formales e informales de la región fue posible gracias al descubrimiento del estudio de que la mayoría de las áreas mineras están abandonadas y severamente impactadas por las actividades.

2.3.2. Cobertura vegetal en actividad minera

Según Peña (2019), La minería y otras actividades humanas pueden dañar la vegetación, lo que puede provocar erosión del suelo, disminución de la humedad y pérdida de variedad de plantas y animales. También se describe como una capa de cobertura que se aplica directamente al suelo y consta de material vegetal vivo y muerto.

2.3.3. Índice vegetación

El índice de vegetación se refiere a una fórmula matemática que integra diferentes bandas espectrales capturadas por un sensor específico (por ejemplo, satélite) para optimizar la identificación de la cubierta vegetal y reducir la interferencia de detalles de otros elementos (por ejemplo, suelo y luz). A través de su respuesta espectral (Orlando Olivares & López-Beltrán, 2019).

2.3.4. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

Villatoro (2020) señala que, el índice de vegetación es un parámetro adimensional con un valor entre -1 y 1. En la práctica, valores inferiores a 0,1 indican la presencia de aguas abiertas y áreas terrestres, mientras que valores más altos indican actividad fotosintética en arbustos, bosques y climas templados, clima, selva y actividades agrícolas.

2.3.5. Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

Esta técnica se emplea con el fin de detectar cuerpos de agua en imágenes de satélite, extendiendo su presencia en la imagen. Para obtener esto, se usa la herramienta de calculadora ráster ARCGIS, ingrese el intervalo apropiado en la fórmula anterior y devuelva los valores -1 y 1, en el que un valor de píxel cercano a 1 es agua y un valor de píxel cercano a -1 es nuevo tipo de capa. Luego se tiene que obtener los puntos NDWI, se realiza una clasificación supervisada según Cárdenas (2020).

2.3.6. Sistema de Información Geográfico (SIG)

Es la combinación metódica de datos tecnológicos, de software y geográficos que pueden recopilarse, guardarse, modificarse, analizarse y presentarse de cualquier forma.

También permite procesos de apoyo a la toma de decisiones, ya que puede procesar grandes cantidades de datos interdependientes. El grado de análisis geográfico está aumentando. Su conocimiento permite consultas claras de información, como interacciones entre todas las áreas, análisis de información especializada, edición de datos, mapeo y visualización de resultados de actividades, que permiten la adquisición, almanaque, publicación y análisis de datos geográficos para impulsar información general Sarria (2018).

2.3.7. R studio

RStudio es un software libre que fue diseñado para hacer análisis estadísticos, gráficas y proporciona una interfaz amigable y eficiente para escribir, ejecutar y administrar código en R. Sarria(2018).

2.3.8. Dron modelo Dji Mavic Air 2s

Cruz et al. (2018) explica que son aquellos que realizan una misión u operación sin piloto, ya que son controlados a través de un supervisor o automáticamente desde tierra. Los drones, asimismo acreditados hoy en día a manera de vehículos aéreos no equipados, se utilizan no solo para la defensa, sino también para aplicaciones civiles como la agronomía y el medio ambiente, y el perfeccionamiento de esta tecnología ha evolucionado exponencialmente en todo el mundo en los últimos años.

2.3.9. Zona de Amortiguamiento

Los corredores son zonas que se destinan a proteger áreas sensibles del paisaje, como humedales y reservas nacionales, de posibles amenazas externas. Además, estos corredores tienen como función conectar los fragmentos del paisaje con zonas de amortiguamiento según Bentrup (2008).

2.4. Marco Normativo

Perú cuenta con varias leyes que regulan el uso de los recursos naturales y la protección de la vida silvestre.

- Ley núm. 29763: Ley Forestal y de Cría Caza. - Decreto Legislativo núm. 1100 prevé una prohibición a nivel nacional de la minería ilegal.
- Decreto Legislativo núm. 1105: Adoptar medidas para formalizar la minería artesanal y de pequeña escala. - Decreto Legislativo núm. 1085: Ley que crea la Autoridad de Vigilancia de los Recursos Forestales y de Vida Silvestre - OSINFOR.
- Resolución principal núm. 112-2006-IGN-OAJ-DGC-J: De conformidad con esta resolución, la República del Perú utilizará el sistema de proyección Universal Transverso Mercator (UTM) en todos los mapas. - Decreto Legislativo núm. 1105 que establece normas para la formalización de la minería artesanal y de pequeña escala.
- Ley núm. 26834, según el artículo 25, las Zonas de Amortiguamiento aquellas zonas adyacentes a las Áreas Naturales Protegidas del Sistema, que por su naturaleza y ubicación requieren un tratamiento especial para garantizar la conservación del área protegida. El Plan Maestro de cada área definirá la extensión que corresponda a su Zona de Amortiguamiento y las actividades que se realicen en las Zonas de Amortiguamiento no deben poner en riesgo el cumplimiento de los fines del Área Natural Protegida.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

En cuanto al diseño de la investigación podemos decir que es de tipo No Experimental, ya que no se hace una manipulación de las variables de la investigación (Variable 1. Degradación de suelo), con respecto a la variable que afecta esta (Variable 2. Explotación minera).

3.2. Acciones y actividades

Se ha considera dos métodos de trabajo, para alcanzar los objetivos de la investigación, los cuales describen con mayor detalle a continuación.

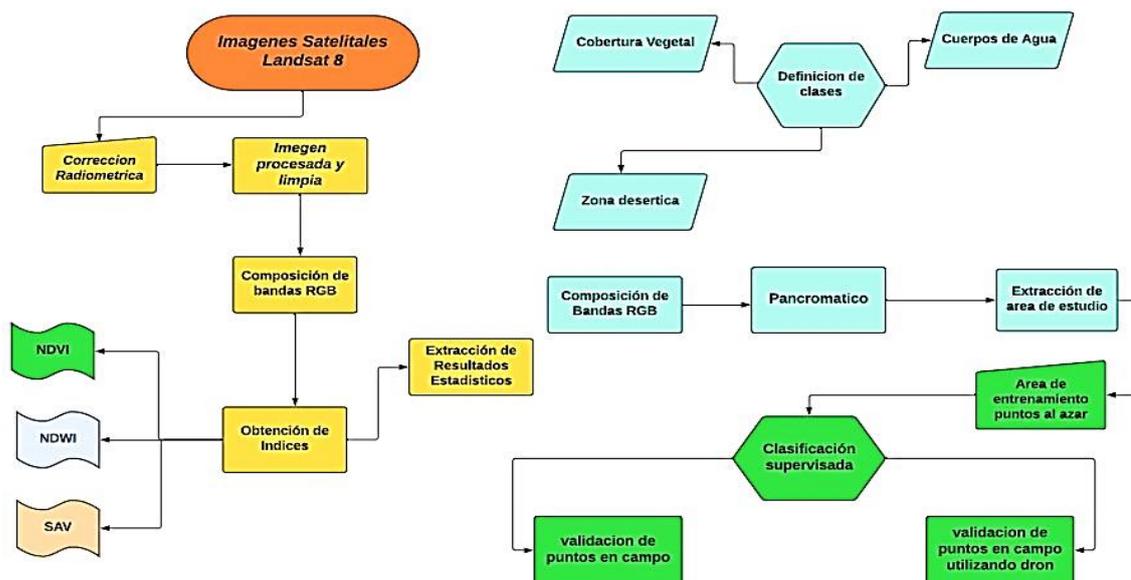
3.2.1. Análisis del tipo de cobertura

a. Clasificación Supervisada.

En el caso de esta metodología se considera la figura 1 en el siguiente flujo de información.

Figura 1

Fases de la Metodología de la Clasificación Supervisada



Nota: Se proporciona un análisis extenso del proceso de investigación, incluido el análisis de imágenes satelitales que se realizó antes de probar las categorías de taxonomía en ArcMap.

a.1. Procesamiento de la información. A través de imágenes satelitales, se calcularán y utilizarán los índices espectrales para analizar la cobertura del suelo y la degradación asociada a la explotación minera.

- **Descarga de Imágenes Satelitales.** El estudio utilizó el satélite Landsat 8, que proporciona imágenes con una resolución de 30 metros en 11 bandas espectrales y consta de dos sensores: el Operational Land Imager (OLI) y el Thermal Infrarrojo Sensor (TIRS). Para acceder a estas imágenes, utilice la plataforma USGS Earth1 Explorer (USGS, 2018), a la que se puede acceder a través de este enlace. <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Dichas imágenes son actualizadas cada dos semanas. Además, se utilizó la cuadrícula mundial WRS para el sistema de referencia, la cual se compone de columnas (PATH - 003) y filas (ROW- 69) en la misma proyección UTMWGS84. (Tabla 4).

Tabla 4

Meta-data de la información de las imágenes satelitales del catálogo de Landsat 8

Año	Fecha de Imagen	Sur elevación	ID
2014	10/08/2014	48.76844319	LC08_L1TP_003069_20140810_20200911_02_T1
2016	16/09/2016	58.78054974	LC08_L1TP_003069_20160916_20200906_02_T1
2018	6/09/2018	55.73699586	LC08_L1TP_003069_20180906_20200831_02_T1
2020	11/09/2020	57.4040018	LC08_L1TP_003069_20200911_20200919_02_T1
2022	13/06/2022	44.0721046 8	LC08_L1TP_003069_20220613_20220617_02_T 1

Nota. Datos del Periodo Seco y Periodo Húmedo de las Imágenes Satelitales Landsat 8 de los años comprendidos del 2014 al 2022.

a.2. Procesamiento Digital de la Imagen Satelital. Para el procesamiento de la información se realizó los siguientes pasos.

- **Corte de la Escena:** Para reducir el tamaño del archivo de la imagen y centrarse en la información de interés, se utilizó un enfoque basado en la

técnica de máscara (shapefile). La máscara del área de interés permitió recortar las imágenes satelitales, eliminando información innecesaria y facilitando el análisis.

- **Combinación de Bandas:** Se realizó la composición de bandas para crear una imagen con mayor nivel de detalle. Se combinaron las bandas 4 (roja), 3 (verde) y 2 (azul) para obtener una imagen en color natural. Esta composición permitió identificar de manera más efectiva los objetos presentes en la imagen y resaltar características clave (Tabla 5).

Tabla 5

Combinaciones RGB usuales en imágenes Landsat 8

Composición	Landsat 8	Aplicaciones
Color natural	4,3,2	La imagen se presenta con una buena representación de cómo los seres humanos percibirían visualmente la escena de forma natural.
Falso Color	5,4,3	Se utiliza ampliamente la composición de color rojo infrarrojo (CIR) para evaluar la densidad y la salud de las plantas debido a su alta reflectividad en el infrarrojo y baja en el rojo. Esta técnica produce una imagen en la que la vegetación sana y bien desarrollada aparece en tonos rojos oscuros, mientras que las áreas vegetales menos densas o menos desarrolladas se muestran en tonos rojos intensos a rosados. Por otro lado, el agua se representa en tonos azules o negros, la vegetación arbustiva variable en tonos marrones y las áreas urbanas o el suelo expuesto en tonos beige o gris.
Agricultura	6,5,2	Mediante el monitoreo de cultivos se puede realizar una estimación de la humedad presente en las plantas y en el suelo, así como también detectar y mapear los daños provocados por incendios forestales.
Vegetación Sana	5,6,2	Examinar minuciosamente la condición de la vegetación.
Penetración atmosférica	7,6,5	Calcular la humedad, textura y rasgos distintivos de los suelos.
Zonas Urbanas	7,6,4	Para visualizar las áreas urbanas, praderas y bosques en una imagen, se utiliza el color magenta para resaltar las zonas urbanas, el verde claro para praderas y pastos, y el verde para áreas forestales.

Nota. Se presentan las combinaciones RGB más utilizadas para las imágenes Landsat 8, y sus aplicaciones correspondientes (Acharya et al., 2015).

•

T

técnica Pancromática: Después de la combinación de bandas RGB, se

aplicó la técnica pancromática. Esta técnica implica fusionar una imagen pancromática en escala de grises de alta resolución con la imagen resultante de la combinación de bandas RGB. La imagen pancromática se ajustó a la resolución y al sistema de coordenadas de la imagen compuesta de bandas RGB para lograr la alineación correcta. Luego, se combinaron los valores de brillo y contraste de la imagen pancromática con la información de color de la imagen compuesta, creando una imagen final que conserva los detalles de alta resolución de la imagen pancromática y muestra información de color.

a.3. Índices de Calidad Ambiental. A través de imágenes satelitales, se analizan los índices que se describen a continuación:

- **Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).** Es una herramienta esencial para evaluar la densidad y salud de la vegetación en una región. A continuación, se detalla cómo calcular el NDVI utilizando imágenes satelitales de Landsat 8. La clasificación supervisada del NDVI se muestra en la ecuación:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1)$$

En donde:

- B4 = NIR Infrarrojo Cercano
- B3 = Red (R) Rojo

- **Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI).** Es una métrica valiosa para identificar áreas de agua y humedad en una región. A continuación, se describe cómo calcular el NDWI utilizando imágenes satelitales de Landsat 8, correspondientes a las bandas infrarrojas de onda corta (SWIR) y verde (GREEN) de Landsat 8 para la región de interés. La clasificación supervisada del NDWI se muestra en la ecuación:

$$\text{NDWI} = (\text{GREEN} - \text{SWIR}) / (\text{GREEN} + \text{SWIR}) \quad (2)$$

En donde:

- B4 = NIR Infrarrojo Cercano

- B5 = SWIR

- **Índice de Vegetación Ajustado al suelo (SAVI).** Es una métrica que tiene en cuenta la corrección por la influencia del suelo en la reflectancia de las bandas. Aquí se explica cómo calcular el SAVI utilizando imágenes satelitales de Landsat 8, correspondientes a las bandas infrarroja cercana (NIR) y roja (RED) para la región de interés. La clasificación supervisada del SAVI se muestra en la ecuación:

$$\text{SAVI} = [(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED} + L)] * (1 + L) \quad (3)$$

En donde:

- B4 = NIR Infrarrojo Cercano
- B3 = Red (R) Rojo

Según la literatura, se ha propuesto un coeficiente de ajuste de vegetación, L, que puede tener un valor de 1 para densidades bajas de vegetación.

L= 1 (para bajas densidades de vegetación)

L= 0,5 (para medias densidades de vegetación)

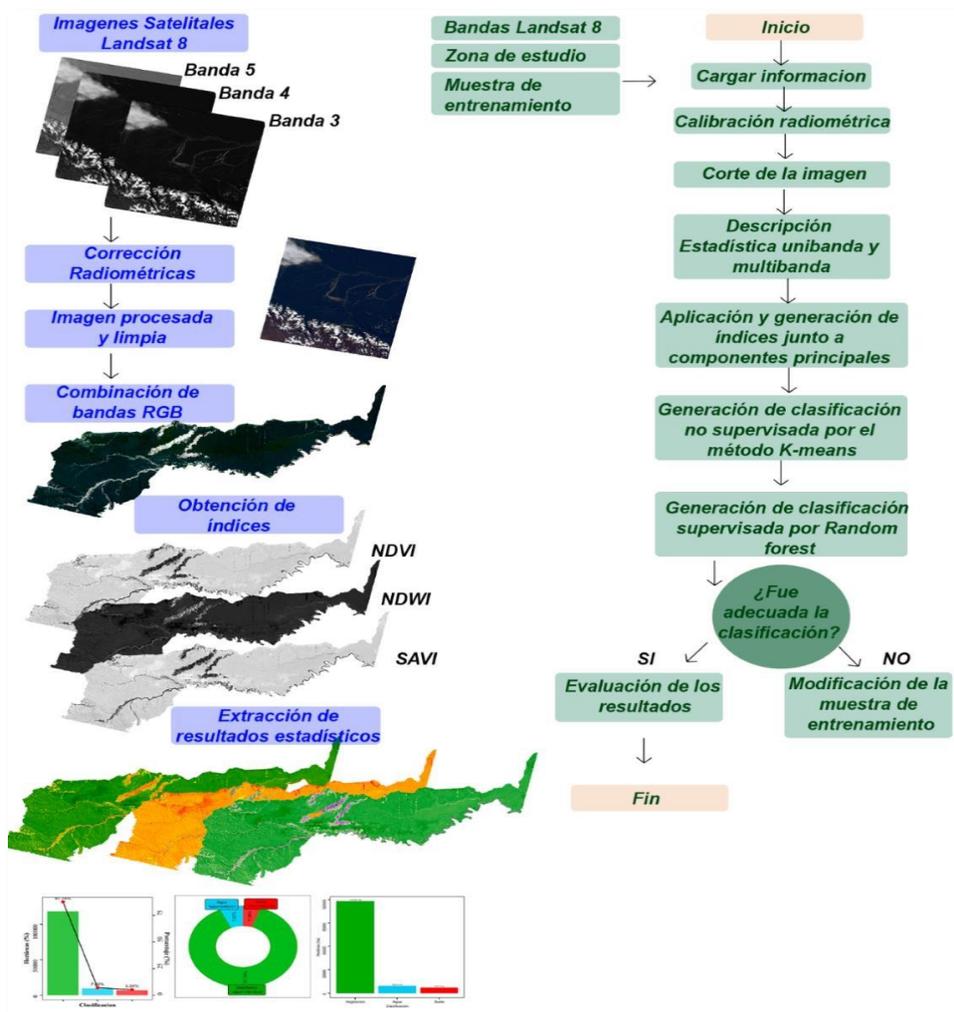
L= 0,25 (para altas densidades de vegetación)

b. Clasificación No Supervisada

En el caso de esta metodología se considera el siguiente flujo de información. (Figura 2).

Figura 2

Fases de la Metodología de la Clasificación No Supervisada



Nota: Se proporciona un análisis extenso del proceso de investigación, incluido el análisis de imágenes satelitales que se realizó antes de probar las categorías de taxonomía en Rstudio.

b.1. Procesamiento de la información. La clasificación no supervisada es un proceso donde el software asigna píxeles a diferentes clases o categorías en función de las similitudes en sus valores espectrales. RStudio y el paquete ráster son herramientas eficaces para llevar a cabo este tipo de clasificación en imágenes satelitales de Landsat 8. Pasos para Realizar la Clasificación No Supervisada en RStudio con Imágenes Landsat 8.

- **Carga de Imagen Multibanda.** Utiliza la biblioteca raster para cargar la imagen multibanda de Landsat 8 que se utilizará para la clasificación.

Asegúrate de que la imagen esté correctamente georreferenciada, mediante una ecuación de Código R para cargar la imagen Multibanda.

```
library(raster)
# Cargar imagen multibanda
multiband <- stack("ruta_a_imagen_multibanda.tif")
(4)
```

- **S**
elección de Píxeles de Entrenamiento. Selecciona píxeles representativos de diferentes clases utilizando herramientas como QGIS o software similar. Estos píxeles serán utilizados para entrenar el algoritmo de clasificación.

- **P**
reparación de Píxeles de Entrenamiento. Extrae los valores espectrales de los píxeles de entrenamiento de la imagen multibanda y crea una tabla de entrenamiento, mediante una ecuación de Código R. Preparación de Píxeles de Entrenamiento

```
# Extraer valores espectrales de los píxeles de entrenamiento
train_pixels <- extract (multiband, puntos entrenamiento)
training_table <- data.frame(train_pixels)
(5)
```

- **Aplicación del Algoritmo de Clasificación No Supervisada.** Utiliza el paquete caret y su función kmeans para aplicar el algoritmo de clasificación no supervisada de K-means, mediante la ecuación de la Aplicación de Algoritmo de Clasificación No Supervisada

```
library(caret)
# Aplicar algoritmo K-means
num_clusters <- 3 # Número de clases deseadas
kmeans_result <- kmeans (training_table, centers = num_clusters)
(6)
```

- **Asignación de Clases a la Imagen Completa.** Utiliza el resultado del algoritmo K-means para asignar clases a toda la imagen multibanda, mediante la ecuación de Asignación de Clases a la Imagen Completa.

```
# Asignar clases a la imagen completa
classified_image <- predict(multiband,
kmeans_result$centers) (7)
```

- **Visualización de la Imagen Clasificada.** Utiliza la biblioteca rasterVis para visualizar la imagen clasificada y sus diferentes clases, en la siguiente ecuación.

```
library (rasterVis)
RandomForest.pa <- rasterToPoints(classified_image) RandomForest.pa_a
<- data.frame(RandomForest.pa) colnames(RandomForest.pa_a) <- c("x","y",
"Cober") colores =c("#4cc9f0", "#38A700", "red" )
library(ggspatial)
# Visualizar la imagen clasificada ggplot()+
geom_raster(data = RandomForest.pa_a, aes(x,y,fill =Cober)) + geom_sf(data
= Zona_py, fill=NA, size=0.05, color=NA)+ scale_fill_gradientn(colours = colores
, name='Clasificacion', labels = c("Agua","Vegetacion", "Suelo"),
breaks = c(1,2,3))+
guides(fill = guide_legend(title.position = "top",direction = "vertical"))+
annotation_north_arrow(location="tl",which_north="true",style=north_arrow_fancy
_orienteering ())+ annotation_scale(location = "br",bar_cols = c("grey60",
"white"), text_family = "ArcherPro Book")
(8)
```

b.2. Índices de Calidad Ambiental. A través de imágenes satelitales, se analizan los índices que se describen a continuación.

- **Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).** Es una herramienta esencial para evaluar la densidad y salud de la vegetación en una región. A continuación, se detalla cómo calcular el NDVI utilizando imágenes satelitales de Landsat 8. Utiliza la biblioteca rasterVis para visualizar el NDVI que has calculado. Esto te permitirá identificar patrones de vegetación y áreas afectadas por la explotación minera, mediante la ecuación en R studio.

```

library(raster)
# Cargar imágenes NIR y RED nir <-
raster("ruta_a_imagen_NIR.tif") red <-
raster("ruta_a_imagen_RED.tif")
# Calcular NDVI
ndvi <- (nir - red) / (nir + red)
(9)

```

- **Visualización del NDVI.** Utiliza la biblioteca rasterVis para visualizar el NDVI que has calculado. Esto te permitirá identificar patrones de vegetación y áreas afectadas por la explotación minera con la ecuación en Rstudio.

```

library(rasterVis)
# Visualizar NDVI
levelplot(ndvi, col.regions = colorRampPalette(c("red", "yellow",
"green"))(100),
main = "Índice de Vegetación Diferencial Normalizado
(NDVI)")
(10)

```

- **Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI).** Es una métrica valiosa para identificar áreas de agua y humedad en una región. A continuación, se describe cómo calcular el NDWI utilizando imágenes satelitales de Landsat 8, correspondientes a las bandas infrarroja de onda corta (SWIR) y verde (GREEN) en RStudio para la región de interés. Utiliza las bibliotecas raster y rgdal para cargar las imágenes en RStudio. Asegúrate de que las imágenes estén georreferenciadas adecuadamente y en la misma proyección, con la ecuación en Rstudio.

```

library(raster)
# Cargar imágenes SWIR y GREEN
swir<-raster("ruta_a_imagen_SWIR.tif")green<-
raster("ruta_a_imagen_GREEN.tif")
# Calcular NDWI
ndwi <- (green - swir) / (green + swir)
(11)

```

- **Visualización del NDWI:** Utiliza la biblioteca rasterVis para visualizar el NDWI que has calculado. Esto te permitirá identificar áreas de agua y humedad en la región de estudio, con la ecuación en Rstudio.

```
library(rasterVis) # Visualizar NDWI
levelplot(ndwi, col.regions = colorRampPalette(c("blue",
"white", "green"))(100), main = "Índice Diferencial de Agua
Normalizado (NDWI)")
(12)
```

- **Índice Ajustado al suelo (SAVI).** Es una métrica que tiene en cuenta la corrección por la influencia del suelo en la reflectancia de las bandas. Aquí se explica cómo calcular el SAVI utilizando imágenes satelitales de Landsat 8, correspondientes a las bandas infrarroja cercana (NIR) y roja (RED) para la región de interés. Utiliza las bibliotecas raster y rgdal para cargar las imágenes en RStudio. Asegúrate de que las imágenes estén georreferenciadas correctamente y en la misma proyección, con la ecuación en Rstudio.

```
library(raster)
# Cargar imágenes NIR y RED nir <- raster("ruta_a_imagen_NIR.tif") red
<- raster("ruta_a_imagen_RED.tif")
#                               Calcular                               SAVI
(13)
```

- **Visualización del SAVI.** Utiliza la biblioteca rasterVis para visualizar el SAVI que has calculado. Esto te permitirá identificar áreas de vegetación ajustadas al suelo y evaluar los efectos de la explotación minera en la vegetación, con la ecuación en Rstudio.

```
library(rasterVis) # Visualizar SAVI
levelplot(savi, col.regions = colorRampPalette(c("red", "yellow",
"green"))(100), main = "Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)")
(14)
```

3.2.1. Evaluación de la degradación de suelos

a. Clasificación No Supervisada

Para poder determinar la deforestación se generarán mapas de deforestación se utilizó un algoritmo de clasificación no supervisada que se basa en agrupar categorías (Cluster) con Random Forest a las imágenes de Landsat. Random Forest estima la exactitud interna mediante una validación cruzada, Cánovas y Gomariz (2016), y se basa en agrupar varios árboles de clasificación. Básicamente, se elige aleatoriamente un conjunto de variables para cada árbol que se va a construir y se hacen predicciones utilizando estas variables. Luego, las predicciones se ponderan determinando qué tipo de árbol se genera y recibe la mayor cantidad de votos para producir la predicción forestal aleatoria final. Para poder realizar el tratamiento y análisis de las imágenes satelitales se empleó el programa estadístico de R con su desktop RStudio.

3.2.2. Mapas temáticos

a. **Clasificación No Supervisada.** Al igual que la metodología anterior se trabajó los mapas temáticos haciendo uso de RStudio.

3.3. Materiales y/o instrumentos

3.3.1. Materiales

- Imágenes satelitales (metadata de las imágenes)

3.3.2. Instrumentos

- Software Vectorial: ArcMap
- Software de libre acceso RStudio 4.3
- Office: Excel, Word
- Laptop
- GPS
- Cámara fotográfica

- Libreta de campo
- Drone modelo Dji Mavic Air 2s

3.4. Población y muestra de estudio

3.4.1. Característica de la zona de estudio

El área de estudio se ubica en el sector la Pampa, región que se encuentra abarcando 162 742,32 hectáreas (1 627,4232 Km²), al oeste de Puerto Maldonado y situada entre las coordenadas 112°41'49" y 13°7'11" LS, así como 69°39'54" y 70°15'12" LO. La región se distingue por una variedad de usos del suelo, que incluyen tierras agrícolas de propiedad privada, concesiones para bosques de castaña (*Bertholletia excelsa* H).

La Reserva Nacional Tambopata en particular es una de las regiones más afectadas por la deforestación, lo que pone en peligro los esfuerzos de la región para conservar la biodiversidad.

La accesibilidad es por la carretera interoceánica de puerto Maldonado – Cuzco en el km 98 al 115.

3.4.2. Población

La población corresponde al Sector de la Pampa – Puerto Maldonado. El Sector La Pampa se ubica entre los kilómetros 98 y 115 de la Carretera Transoceánica Puente Inambari, en la margen derecha del río Tambopata, en toda la zona de amortiguamiento del área natural protegida de la Reserva Nacional Tambopata. La industria minera también ha limpiado importantes áreas de bosques, ríos y arroyos que estaban contaminados con mercurio y otras sustancias químicas tóxicas. Es un bosque tropical que ha sido severamente dañado por la tala ilegal.

Se descubrió oro en la región de la Pampa en la década de 1970 y la minería en la zona creció durante los años siguientes debido a un aumento de la demanda. Como resultado, se establecieron muchos asentamientos mineros ilegales y el gobierno peruano careció de regulación, vigilancia y supervisión. La industria minera está creciendo rápidamente y causando graves daños ambientales y sociales.

Recientemente, el gobierno peruano ha hecho menos esfuerzos para detener la minería ilegal en la región de Madre de Dios y la región de la Pampa. Sin embargo, las operaciones mineras ilegales siguen representando una grave amenaza para el medio ambiente de la región y la calidad de vida de las comunidades locales. (Tabla 6)

Proporciona un refugio para una variedad de animales, plantas y aves en un área de aproximadamente 274.690 hectáreas en la cuenca del río Madre de Dios. También hay varias comunidades aborígenes que han habitado la zona durante muchas generaciones manteniendo su forma de vida tradicional.

El área natural protegida de la Reserva Nacional Tambopata fue establecida en 1990 para proteger la rica biodiversidad de la provincia y promover el desarrollo sostenible de la región de Madre de Dios. Desde entonces, la reserva ha sido el foco de muchos esfuerzos de conservación y desarrollo destinados a proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de vida en el área circundante. (Figura 3)

Figura 3

Mapa de Ubicación de la Área Naturales Protegida de la Reserva Nacional de Tambopata



Nota. La Reserva Nacional de Tambopata es un área natural protegida ubicada en la región de Madre de Dios (MAAP, 2020)

Tabla 6

Concesiones minera en la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata del Departamento de Madre de Dios

N°	Concesion	Titular	Provincia	Distrito	Condicion
1	Cesar Uno	Adrian Paja Paja	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
2	Fundo Los Angeles	Angel Tica Hurtado	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
3	Tres Bocas Malinowski	Hermogenes Hilario Nina Marin	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
4	Fundo Los Angeles	Angel Tica Hurtado	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
5	abel 3	Luis Eusebio Celadita Espinoza	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
6	EL engaño	Inversiones Celcon S.A.C.	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
7	EL Pantaleon I	Luis Eusebio Celadita Espinoza	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
8	EL principe Azul 1	Evelyn Diana Celadita Contreras	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
9	explorador DF I	Dario Ferrel Montesinos	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
10	Fatima	Balbina Huaman Vda De Auquipata	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
11	Imelda 2005	Lucila Vargas Condori	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
12	Ivan-Omar 2005	Braulio Vargas Quispe	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
13	Linda 2	Hugo Quispe Huaricallo	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
14	Ludares I	Lucas Huamani Cayllahua	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
15	Moran I	Cyntia Miranda Ramirez	Tambopata	Inambari	Bloqueado
16	Naranjal 2	Jovita Gutierrez Salas	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
17	Nuevo Amanecer iv	Percy Armando Carpio Torres	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
18	Orion GH i	Rosalio Guzman Loaiza	Tambopata	Inambari	Extinguida
19	Playa Carbajal i	Danis Carbajal Bellido	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
20	Rashing 3	Jessica Ricardina Celadita Contreras	Tambopata	Inambari	Extinguida
21	Rosita i	jose mario suyco mozombite	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
22	Salvacion i	Cesar Augusto Suricallo Arohuata	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
23	Santa Julia i	Cesar Augusto Suricallo Arohuata	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
24	Sapanccari 2	Santiago Eliseo Eccoña Soto	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera
25	Yesenia q	Nora Milagros Molina Chauca	Tambopata	Inambari	Sin actividad minera

Nota. Concesionarios minera Fuente: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET ,2023).

El Parque Nacional Bahuaja-Sonene es un área natural que cubre 1.091.416 hectáreas en la región de Madre de Dios. El parque es parte de la selva amazónica, con una variedad de hábitats, incluidos bosques tropicales, sabanas y humedales, es una de las regiones con mayor biodiversidad del planeta. La reserva alberga una amplia gama de plantas y animales, incluidos jaguares, osos hormigueros gigantes,

monos aulladores y loros rojos, muchos de los cuales son endémicos de la región. La zona de amortiguamiento es un espacio de transición entre el Parque Nacional Bahuaja-Sone y las áreas circundantes, creado para proteger el parque de la actividad humana. El área cubre aproximadamente 1.068.988 hectáreas y se extiende hacia la parte oriental del parque hasta llegar al río Madre de Dios.

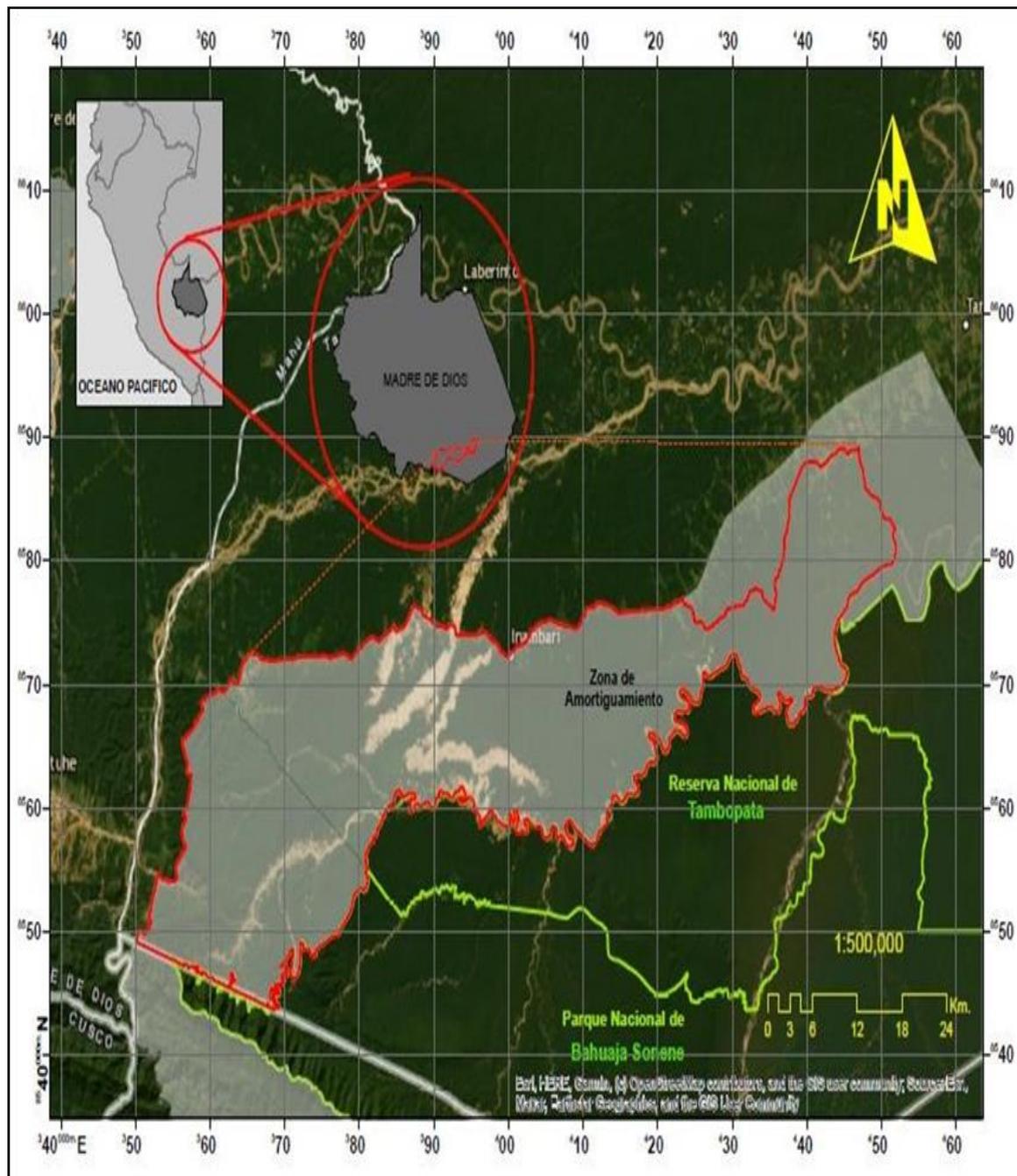
El terreno de la zona de amortiguamiento es conocido por su terreno accidentado con colinas y montañas cubiertas por bosques tropicales. La región también cuenta con pastizales y sabanas. La zona de amortiguamiento es hogar de una variedad de animales como jaguares, pumas y monos araña.

Durante miles de años, comunidades indígenas han habitado el área que ahora incluye el Parque Nacional Bahuaja-Sonene y su zona de amortiguamiento. Sin embargo, en la década de 1970, la zona comenzó a utilizarse para la tala y la minería, causando daños ambientales y reduciendo las poblaciones de animales.

En la década de 1990 se lanzaron iniciativas para proteger la zona y en 1996 se creó el Parque Nacional Bahuaja-Sonene y su zona de amortiguamiento. Actualmente, uno de los espacios naturales más significativos e invaluables tanto del Perú como del mundo entero es el parque y sus zonas de amortiguamiento aledañas.

3.4.3. Muestra

Esta muestra corresponde a la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4*Ubicación de la Zona de Estudio*

3.5. Operacionalización de variables

En la identificación de las variables se presenta la siguiente tabla 7.

Tabla 7*Operacionalización de variables de investigación*

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Degradación de suelo	Esto se determina con base en las observaciones realizadas en cada sitio durante el trabajo de campo y una serie de factores como la condición previa a la minería, la duración y el tipo de minería, el tiempo desde el cese del sustrato, la sobrecarga, la cobertura y los niveles primarios. La información obtenida se utiliza para determinar el grado de degradación para evaluar la función del suelo. (Cantero et al., 2015)	Cobertura vegetal (NDVI)	Niveles	Ha ²	Procesamiento de imágenes satelitales
		Cuerpos de Agua (NDWI)	Niveles	Ha ²	SIG Procesamiento de imágenes satelitales SIG Procesamiento de imágenes satelitales
		Suelo (SAVI)	Niveles	Ha ²	SIG
Explotaciones mineras	Es un conjunto de tareas socioeconómicas realizadas para aprovechar los minerales que se encuentran en las minas.	Mineras	Zona de explotación	Ha ²	Procesamiento de imágenes satelitales

3.6. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizaron.

3.6.1. Técnicas de campo

Interpretación Visual. Se encarga de interpretar los tipos de coberturas vegetales y los patrones de que dan uso de la tierra realizando mediante visualización de las imágenes satelitales y analógicas.

3.6.2. Fase de campo

- Verificación de campo

Se llevó a cabo una verificación en terreno y acuática para reducir los errores de interpretación y confirmar la precisión de los patrones identificados en la imagen del año 2022. Esta verificación se realizó en lugares específicos, como las carreteras principales, los centros poblados, las cuencas, los ríos y los predios privados, entre otros, que están dentro de la zona de amortiguamiento, con el fin de verificar la veracidad de los patrones y coberturas de uso del suelo identificados en la imagen. Además, se identificaron patrones y coberturas que podrían requerir corrección. Las coordenadas de los lugares se obtuvieron mediante GPS para una mayor precisión.

Durante esta etapa, se recopiló y evaluó información y estudios previos relacionados con la zona de estudio, con el propósito de adquirir conocimientos sobre sus particularidades y llevar a cabo un análisis de la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata utilizando una metodología adaptada. Esto posibilita la resolución de patrones inciertos, la identificación de nuevos patrones tanto en la imagen como en el terreno y la comparación de los cambios que podrían haber ocurrido en un período de 10 años. Se busca así minimizar la interpretación errónea y confirmar la validez de los patrones identificados. (Tabla 8)

Tabla 8

Puntos de muestreo de la verificación en campo

Puntos de Muestreo	Tipo de Muestreo	Coordenadas	
		Este (x)	Norte (y)
34	Vegetación	440846.95	8584043.82
36	Vegetación	417507.38	8574026.19
39	Vegetación	410579.12	8573875.55
45	Vegetación	404907.9	8573424.92
46	Vegetación	399086.39	8571655.52
52	Vegetación	397558.02	8567965.24
30	Erosión de Suelo	397407.57	8572646.37
33	Erosión de Suelo	394498.74	8571356.25
61	Erosión de Suelo	392939.47	8574564.43
84	Erosión de Suelo	385356.54	8573847.43
87	Cuerpos de agua	383455.95	8573662.77
111	Cuerpos de agua	396659.27	8564005.66

Nota. Ubicados en la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata

- **Realización del monitoreo de vuelo en DRON**

El proceso permite disminuir los errores de interpretación, confirmar la autenticidad de los patrones, solucionar patrones dudosos y descubrir nuevos patrones en la imagen o en la realidad para comparar los cambios que pudieron haber ocurrido en los últimos nueve años. Además, a partir de la identificación de patrones y coberturas con ciertas características, se infiere que pertenecen al mismo tipo de cobertura vegetal o patrón de uso, y se registraron las coordenadas del lugar mediante el uso del GPS. Durante la salida de campo, se recopilaban datos de puntos de monitoreo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Clasificación, pérdida y tasa de cobertura vegetal en degradación del suelo por la explotación minera, en el sector la pampa – Puerto Maldonado.

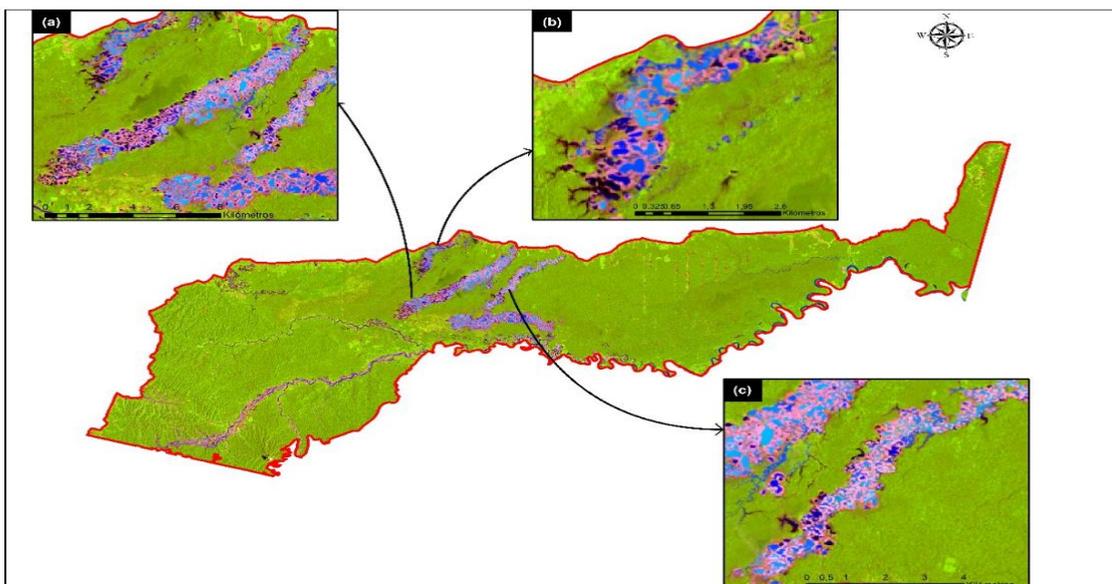
4.1.1. Combinación de bandas RGB

El análisis espacio temporal entre los años 2014 al 2022 para la cobertura y su clasificación de la imagen demuestran que en la zona de La Pampa y el Río Manuripe son las zonas con mayor cambio de uso (Figura 5), muestran que las áreas con actividad minera es el principal motor de la deforestación (cambio de cobertura vegetal)

Las imágenes de satélite Landsat 8, de los periodos anuales de 2014 al 2022 en intervalos de dos años y Path/Row 003/69, se pudo obtener del portal de Google Earth Engine (GEE). Todas las imágenes del área de estudio tuvieron una presencia de nubosidad menores al 10 % (Figura 5).

Figura 5

Imagen de Satélite Landsat, firmas espectrales en las bandas R (6) G (5) B (4); (a) zona minera la pampa, (b) Cuerpos de agua, (c) Zona de Malinosqui del año.



Para la clasificación, se empleó las categorías sugerida y adaptada por MINAM (2012), que es de CORINE Land Cover (IDEAM 2010). Teniendo estas

consideraciones se tomó muestras para la categoría vegetación de 248 muestras y para la categoría de erosión de suelo 406 muestras. Para la clasificación multiespectral no supervisada de K-means y el algoritmo Randon Forest se aplicó a cada año de estudio (2016 al 2022) se realizó en el área cortada por la zona de amortiguamiento Tambopata (Figura 6).

La dinámica de cambio de la cobertura vegetal avanzando exponencialmente entre los años 2014 (3512 ha), 2016 (2449 ha), 2018 (4227 ha), 2020 (2996 ha) y 2022 (3298 ha).

Los resultados evidenciados en la Tabla 8 muestran que, en el año 2014, la deforestación del bosque alcanzó las 3512 hectáreas, como se puede apreciar visualmente en la Figura 6.A. Posteriormente, en el año 2016, disminuyó a 2449 hectáreas, experimentando un descenso atribuido a intervenciones estatales en la zona conocida como la pampa. Esta intervención fue denominada "Operación Mercurio" y se puede observar visualmente en la Figura 6.B. Por otro lado, en el año 2018, la deforestación experimentó un incremento exponencial, alcanzando su punto máximo con 4227 hectáreas. Sin embargo, en la Figura 6.D se observa que, para el año 2020, se produjo una disminución significativa, siendo este el año con la menor deforestación registrada, con 2996 hectáreas. Este fenómeno podría estar relacionado con la pandemia de Covid-19. Finalmente, se destaca en la Figura 6.E que, en el año 2022, se registró un nuevo aumento considerable en la deforestación, alcanzando las 3298 hectáreas.

Figura 6

Mapas de Clasificación no supervisada de la zona de amortiguamiento Tambopata - Madre de Dios, de los años 2014(A), 2016(B), 2018(C), 2020(D) y 2020(E)

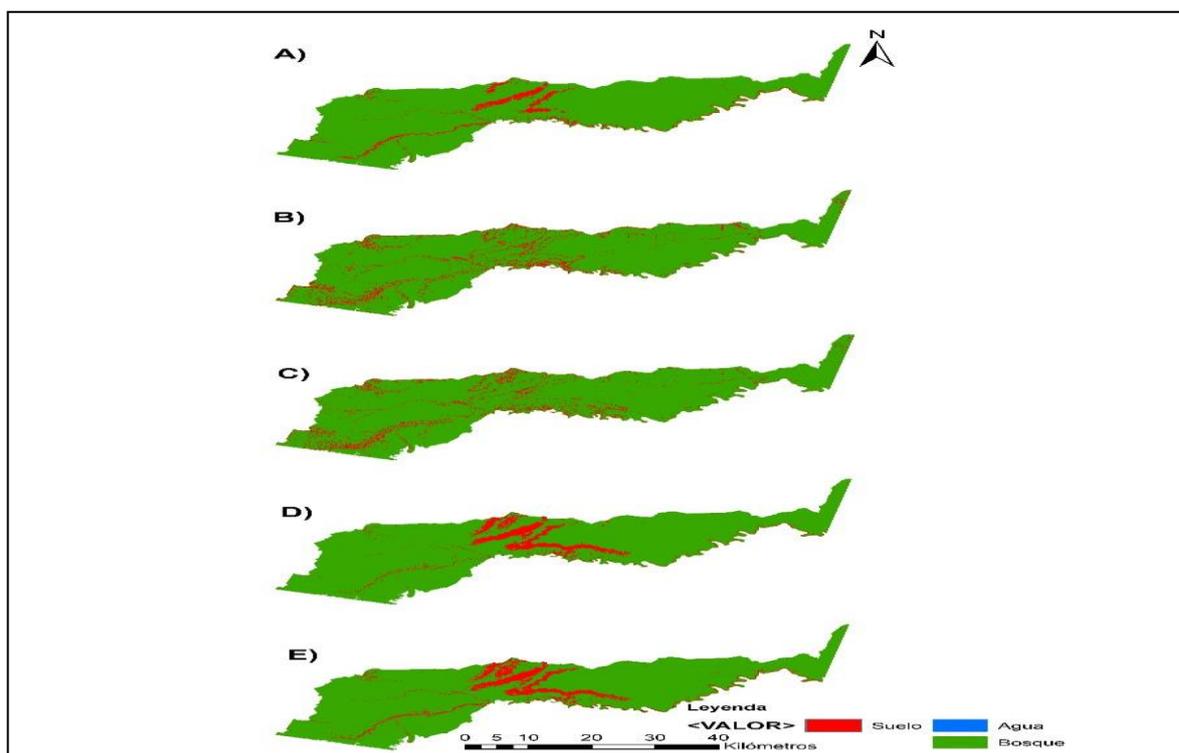


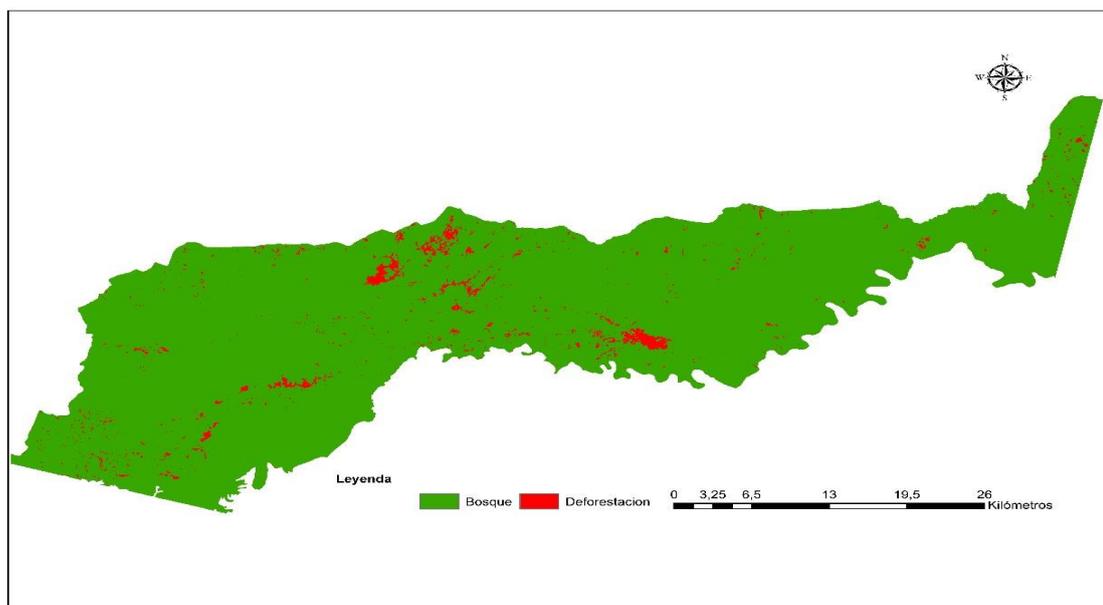
Tabla 9

Reporte de clasificación no supervisada del sector La Pampa de la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata- Madre de Dios, periodos 2014, 2016,2018,2020 y 2022

Años	Clases	
	Bosque (ha)	Deforestación (ha)
2014	118 136, 07	3 512
2016	117 968, 22	2 449
2018	122 212, 26	4 227
2020	116 701, 2	2 996
2022	112 879, 98	3 298

Figura 7

Análisis de la deforestación de la cobertura boscosa correspondiente al año 2018 del sector La Pampa de la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata- Madre de Dios

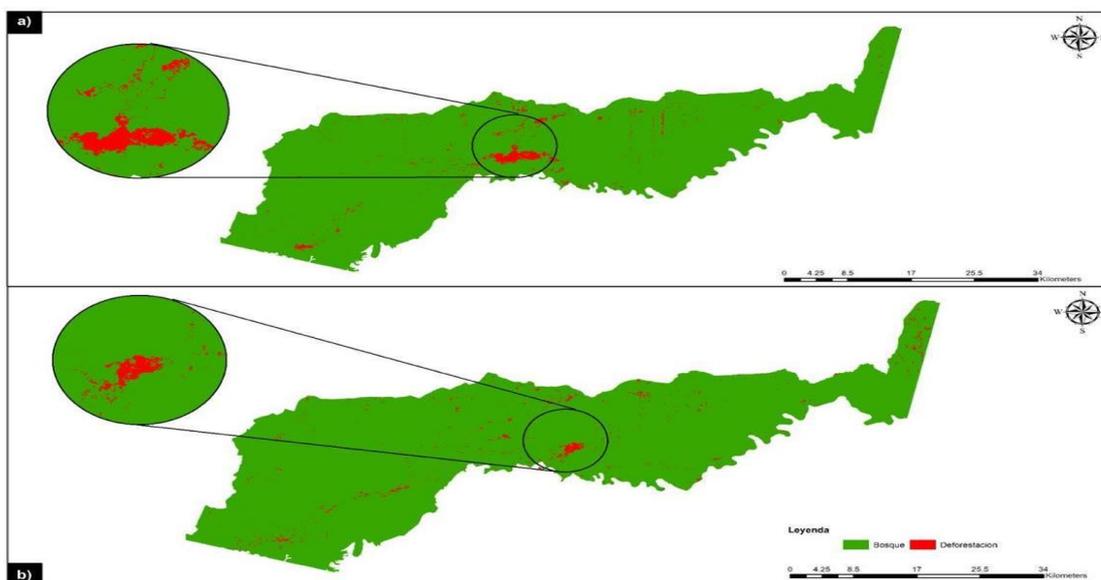


Nota: Haciendo un análisis macro, la deforestación y sus consecuencias son problemas que han afectado a los países latinoamericanos. Limpian demasiado rápido y plantan muy atrás. La pérdida de

cobertura forestal debido a la deforestación para la minería, el desarrollo de infraestructura y la falta de planificación urbana y territorial es una de las mayores amenazas que enfrenta la Amazonía

Figura 8

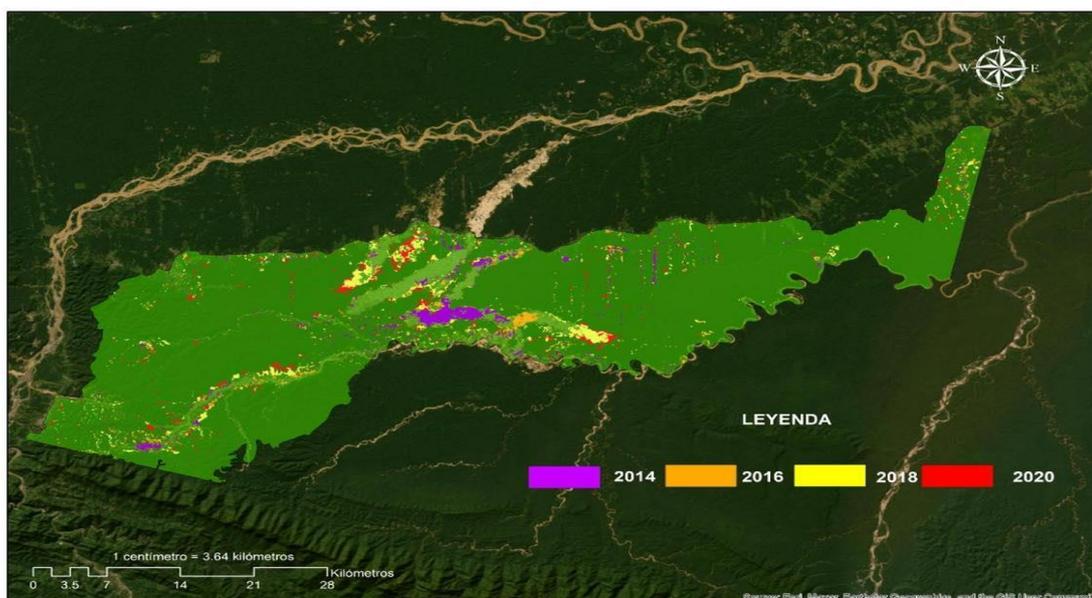
Análisis macro de la deforestación de los años 2014 (a), 2016 (b), en la zona de amortiguamiento de Madre de Dios



Nota: Análisis macro a la deforestación para el año 2014 es de 3512 (ha) donde se puede observar la figura 8 que la deforestación incremento en la zona conocido como la Pampa, seguidamente por el año 2016 con 2449 ha.

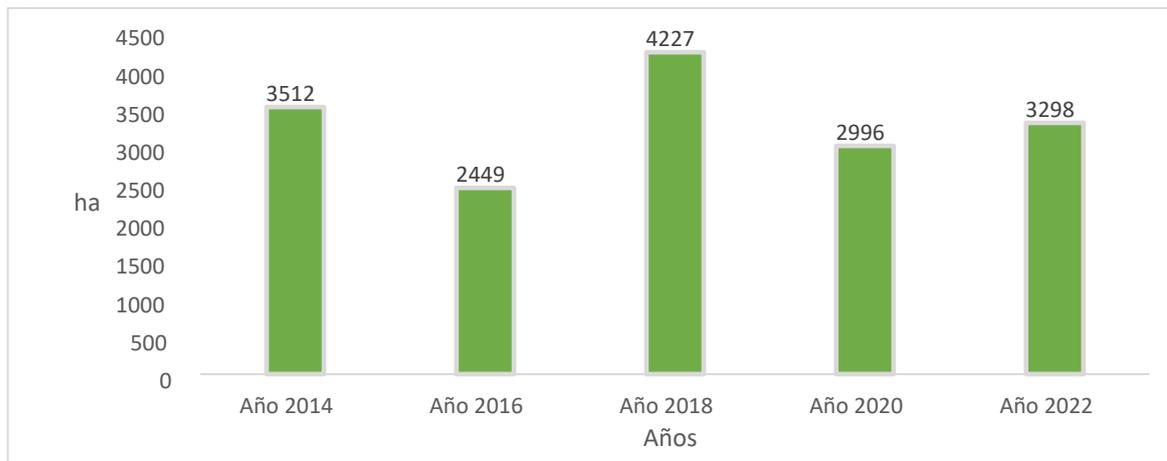
Figura 9

Análisis del estudio de deforestación de los años 2014, 2016, 2018 y 2020



Nota: El análisis del estudio de deforestación de los años 2014, 2016, 2018 y 2020 revela patrones significativos en relación con la pérdida de bosques y su vinculación con la actividad de la minería

Figura 10
Pérdida de bosque entre los años 2014 al 2022



Nota: De acuerdo con los datos de la investigación (figura 10), se puede ver un aumento exponencial en la pérdida de bosque. Inicialmente para el año 2014 la pérdida de bosque es de 3512 ha, para el año 2016 es el año con menor deforestación con 2449 ha, no obstante, el año con mayor deforestación es el 2018 con 4227 ha.

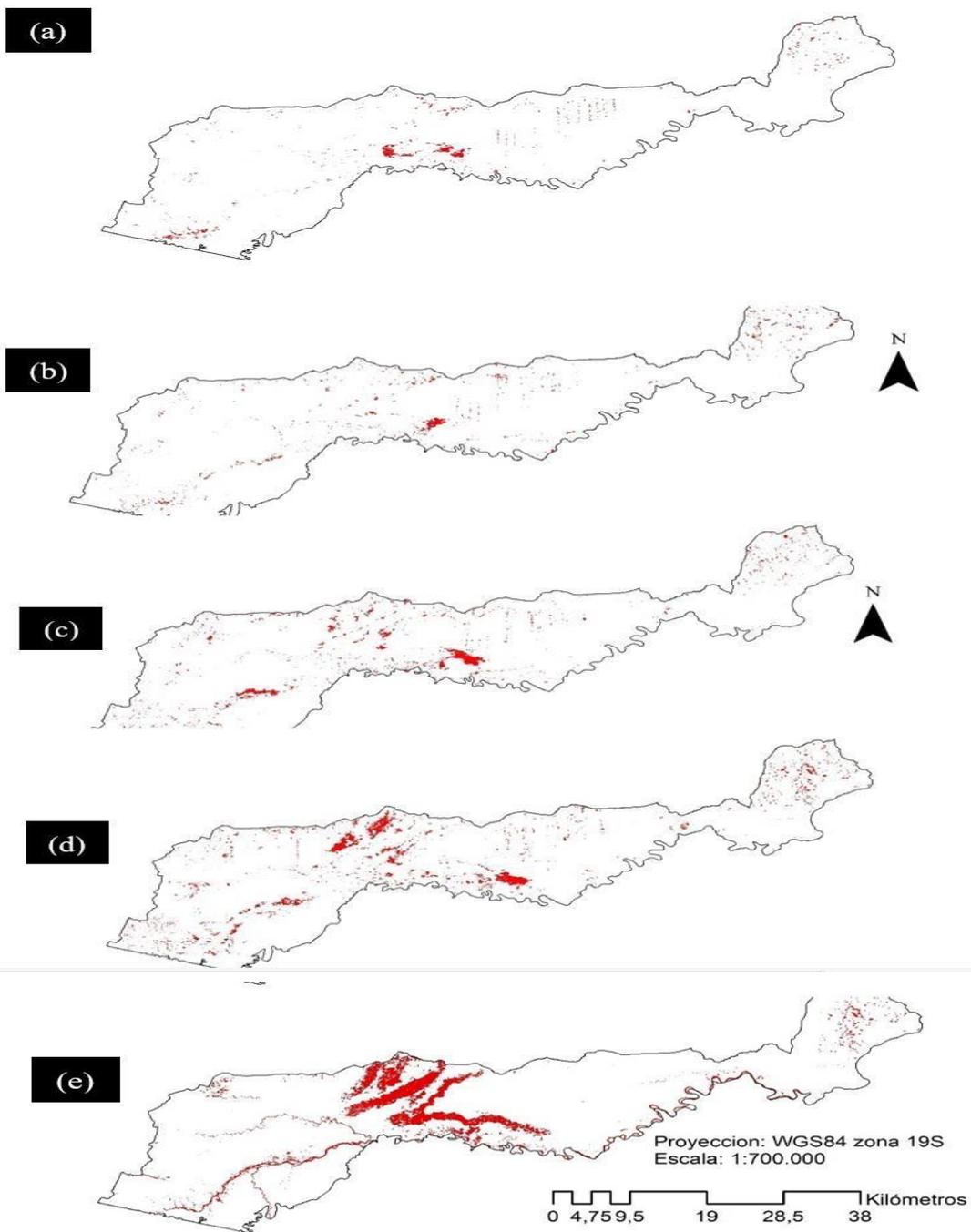
La figura 11 muestra la pérdida de bosque, vinculada de manera destacada a la actividad de la minería ilegal, ha experimentado variaciones notables en los años evaluados. Durante el periodo 2014 (a), se registró una pérdida significativa de 3,512 hectáreas, evidenciando el impacto considerable de la minería ilegal en la deforestación. En 2016 (b), la tendencia persistió con la pérdida de 2,449 hectáreas, indicando una disminución, aunque aún considerable, en la cobertura forestal debido a la actividad minera no regulada.

El año 2018 (c) marcó un aumento sustancial en la pérdida de bosque, alcanzando las 4,227 hectáreas afectadas por la minería ilegal. Este incremento resalta la magnitud del problema y su impacto negativo en la conservación del entorno forestal. En 2020 (c), aunque se observó una disminución en comparación con 2018, se perdieron aún 2,996 hectáreas, subrayando la persistencia de la amenaza de la minería ilegal en la deforestación.

El año 2022 (d) presentó una pérdida de 3,298 hectáreas, indicando que la actividad de la minería ilegal sigue siendo un factor clave en la degradación del bosque.

Figura 11

Deforestación de la Análisis Multitemporal de la zona de amortiguamiento del Tambopata para los años 2014, 2016, 2018, 2020 y 2022



A.1. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

De acuerdo a la figura 12, se puede observar que el Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada donde se muestra en el bosque comprende 118136,07 ha, seguidas por el suelo desnudo 7057,62 ha, por último, tenemos a los cuerpos de agua que comprende 9452,61 ha, por otro lado, en termino de porcentualita tenemos que la cobertura de bosque se extiende el 87,74 %, seguida por el cuerpo de agua 7,02 y el suelo desnudo con 5,24% (Tabla 9)

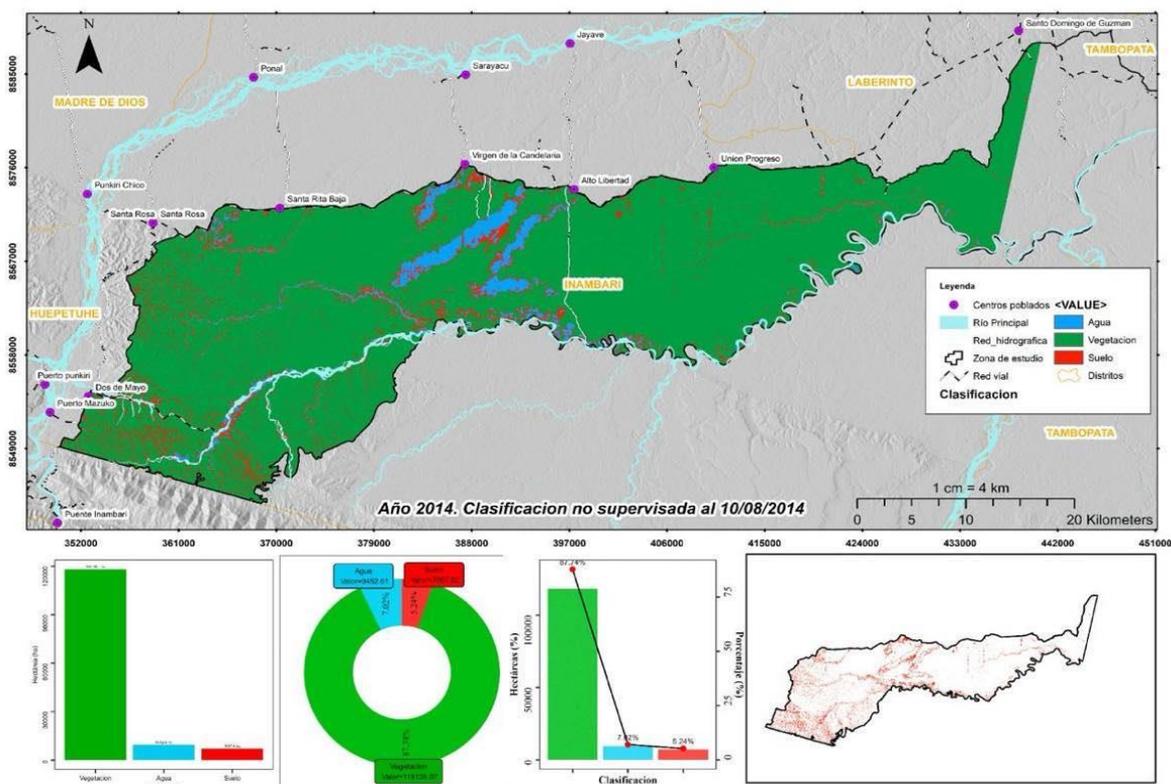
Tabla 10

Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2014

Año 2014	Hectáreas	Porcentaje
Bosque	118136,07	87,74
Suelo	7057,62	7,02
Agua	9452,61	5,24
Deforestación	3 512	2,61

Figura 12

Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2014 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.



Según la figura 13, en términos de extensión, el bosque ocupa la mayor parte de la zona de amortiguamiento con 117968.22 hectáreas, seguido por el suelo desnudo con 10120.05 hectáreas y los cuerpos de agua con 9873.9 hectáreas. Estos datos revelan la distribución espacial de los diferentes tipos de cobertura en el área estudiada.

Ahora, es crucial tener en cuenta que la región ha experimentado un proceso de deforestación, afectando un total de 2,449 hectáreas. Esta pérdida de cobertura boscosa tiene un impacto significativo en el equilibrio ambiental y en la biodiversidad de la zona de amortiguamiento.

Al analizar los porcentajes relativos a la cobertura del suelo, se observa que el bosque representa el 87.61%, seguido por los cuerpos de agua con un 7.33%, y el suelo desnudo con un 7.52%. Estos porcentajes proporcionan una visión clara de la distribución proporcional de los diferentes tipos de cobertura en la región.

Es importante destacar la relevancia del NDVI en este estudio, ya que proporciona información valiosa sobre la salud y vitalidad de la vegetación. El análisis de NDVI es fundamental para comprender mejor la dinámica del ecosistema y detectar cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo.

En resumen, la región presenta una distribución de cobertura del suelo diversa, pero la deforestación es un problema que requiere atención urgente para garantizar la sostenibilidad ambiental a largo plazo. El monitoreo continuo utilizando tecnologías como el NDVI será esencial para evaluar y abordar los cambios en la cobertura del suelo en el futuro.

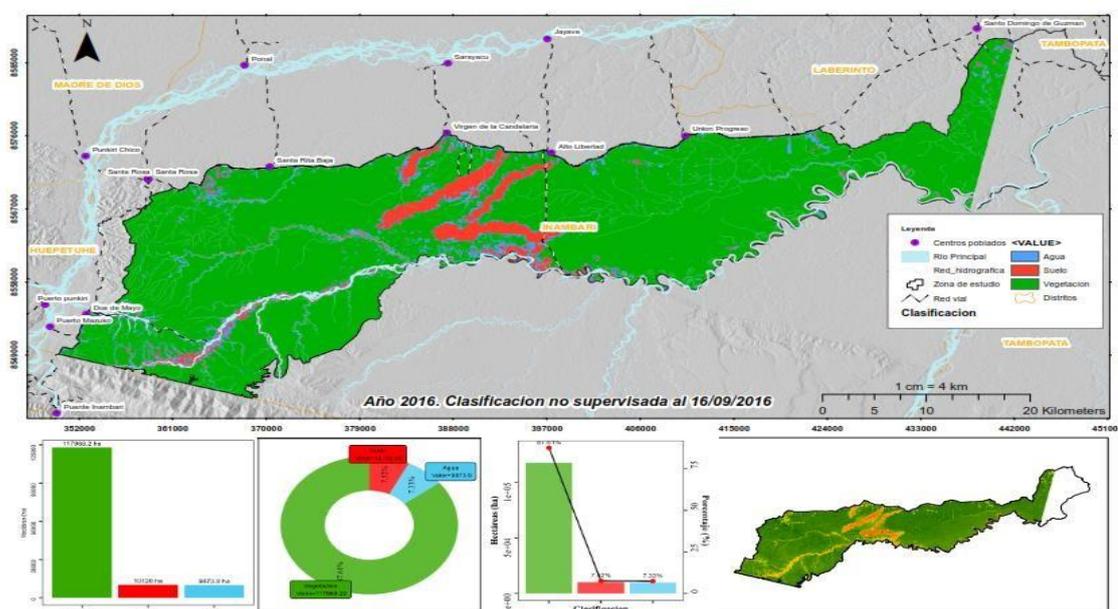
Tabla 11

Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2016

Año 2016	Hectáreas	Porcentaje
Bosque	117968,22	87,61
Suelo	10120,05	7,52
Agua	9873,90	7,33
Deforestación	2449	1,78

Figura 13

Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2016 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.



De acuerdo a la figura 14, en el año 2018, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de la cobertura del terreno en la zona de amortiguamiento Tambopata, utilizando el Índice de Diferencia Normalizada (NDVI) para llevar a cabo una clasificación no supervisada. Según los resultados obtenidos, la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata abarca un total de 117,968.22 hectáreas, distribuidas entre bosque, agua y suelo.

Sin embargo, es crucial resaltar que la región ha experimentado una preocupante deforestación, afectando un total de 4227 hectáreas. El principal motivo de la pérdida de cubierta forestal es la tala ilegal, una actividad que amenaza gravemente la biodiversidad y el equilibrio del medio ambiente.

En términos de extensión, el bosque aún cubre la mayor parte de la de la zona de estudio con 118,136.07 hectáreas, seguido por el suelo desnudo con 12425,31 hectáreas y los cuerpos de agua con 9655,29 hectáreas. Estos datos resaltan la magnitud del desafío que representa la deforestación inducida por la minería ilegal.

Al analizar los porcentajes relativos a la cobertura del suelo, se observa que el bosque representa el 87,61 %, seguido por los cuerpos de agua con un 7,33 %, y el suelo desnudo con un 7,52 %. Sin embargo, la deforestación vinculada a la minería

ilegal ha alterado estos porcentajes y plantea una seria amenaza para el equilibrio ecológico.

En resumen, la región enfrenta desafíos ambientales significativos, especialmente debido a la minería ilegal, que ha emergido como la principal causa de la deforestación. La situación en la zona de amortiguamiento subraya la importancia de implementar estrategias de conservación y gestión efectivas para preservar la biodiversidad y mantener el equilibrio ambiental en la región.

Tabla 12

Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2018

Año 2018	Hectáreas	Porcentaje
Bosque	122212,26	87,61
Suelo	12425,31	7,52
Agua	9655,29	7,33
Deforestación	4227	2,93

Figura 14

Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2018 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios

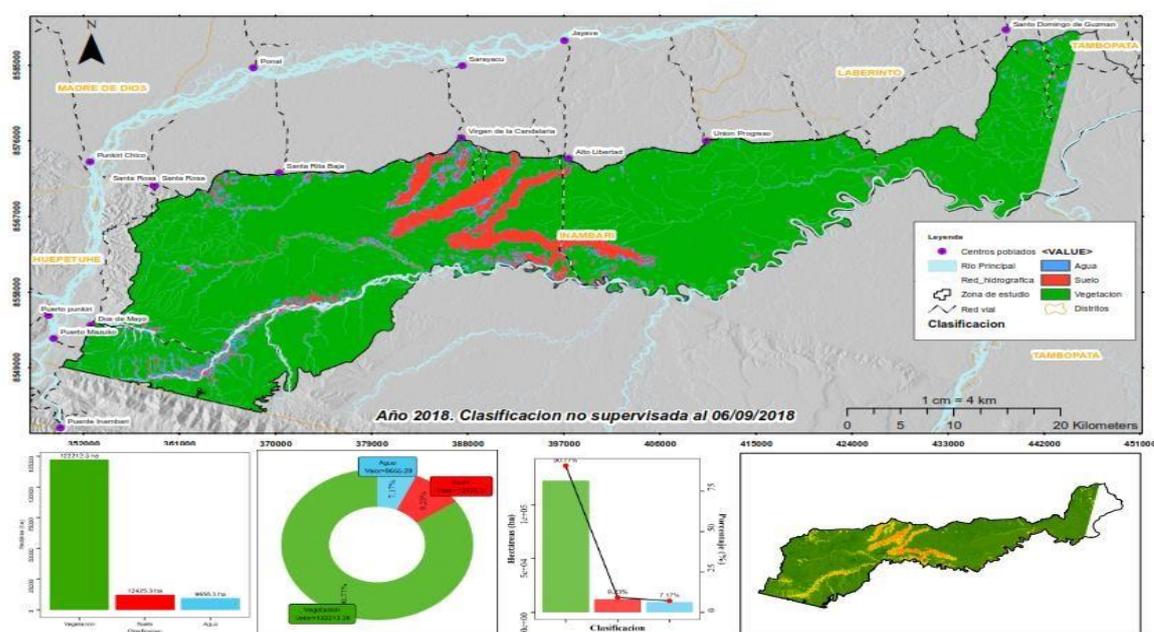


Tabla 13

Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2020

Año 2020	Hectáreas	Porcentaje
Bosque	122212,26	90,77
Suelo	12425,31	9,23
Agua	9655,29	7,17
deforestación	2996	2,08

La nueva información revela que, en la (figura 15), correspondiente al año 2020, la zona de amortiguamiento de la reserva nacional de Tambopata se caracteriza por tres tipos de cobertura: la vegetación con 122 212,26 hectáreas (90,77%), el agua con 9 655,29 hectáreas (7,17 %), y el suelo con 12 425,31 hectáreas (9,23%). Estos datos enfatizan la importancia de la zona de amortiguamiento como un área crucial para la conservación, lo cual subraya la necesidad de implementar estrategias de conservación y gestión efectivas para preservar la biodiversidad y mantener el equilibrio ambiental en la región.

Figura 15

Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2020 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios.

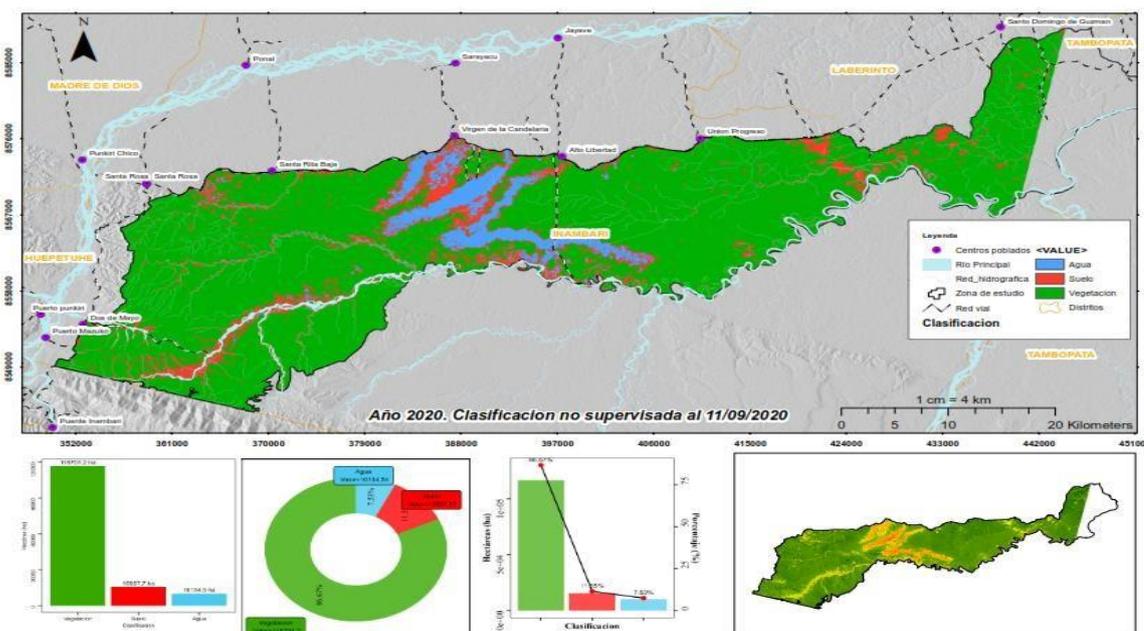


Tabla 14

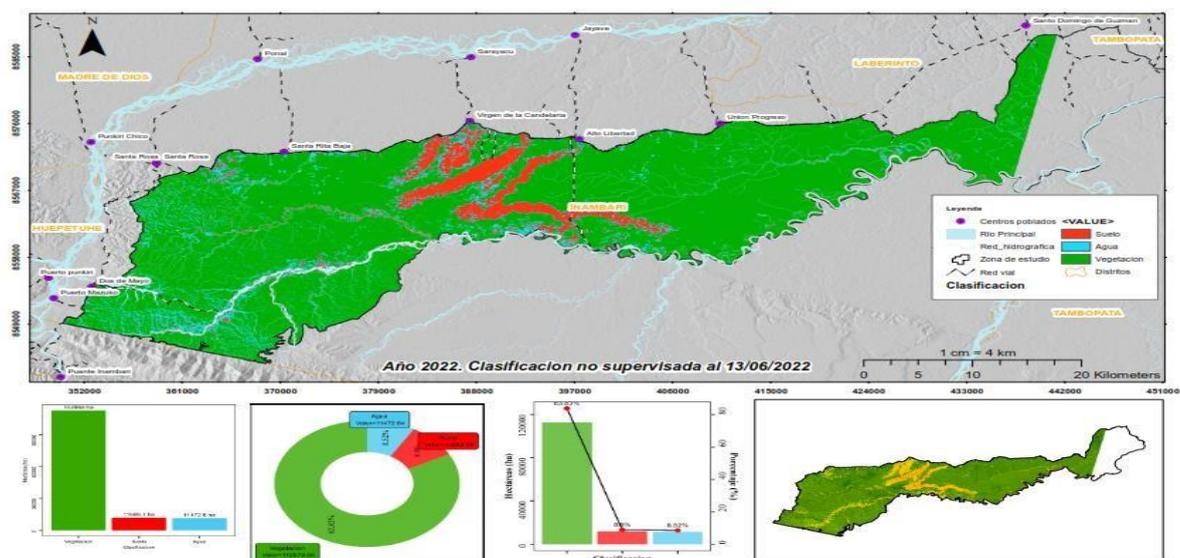
Resultado del Índice de diferencia normalizada – NDVI utilizada para la clasificación no supervisada año 2022

Año 2022	Hectáreas	Porcentaje
Bosque	112879,98	83.83
Suelo	11989,10	8.9
Agua	11472,84	8.52
Deforestación	3298	2,42

Según la figura 16, la zona de amortiguamiento sigue siendo crucial para la conservación, ya que alberga una extensa vegetación que abarca el 83,83% del área total. Sin embargo, la presencia de la deforestación conlleva desafíos significativos que requieren acciones de conservación y gestión más efectivas para preservar la biodiversidad y mantener el equilibrio ambiental en la región. La implementación de estrategias sostenibles se vuelve aún más apremiante para abordar los cambios observados y garantizar la protección a largo plazo de este valioso ecosistema.

Figura 16

Análisis de clasificación no supervisada mediante el NDVI correspondiente al año 2022 en la zona de amortiguamiento Tambopata en Madre de Dios



a.2. Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

En la (figura 17), que describes, se identifican claramente las zonas A, B, C y D en la zona de amortiguamiento. Estas áreas destacadas sugieren la posible presencia de minería ilegal, y se manifiestan a través de diversos tipos de cobertura en la imagen. Es probable que estas áreas muestren patrones característicos asociados con actividades mineras, como cambios en la vegetación, presencia de sedimentos o alteraciones en el terreno.

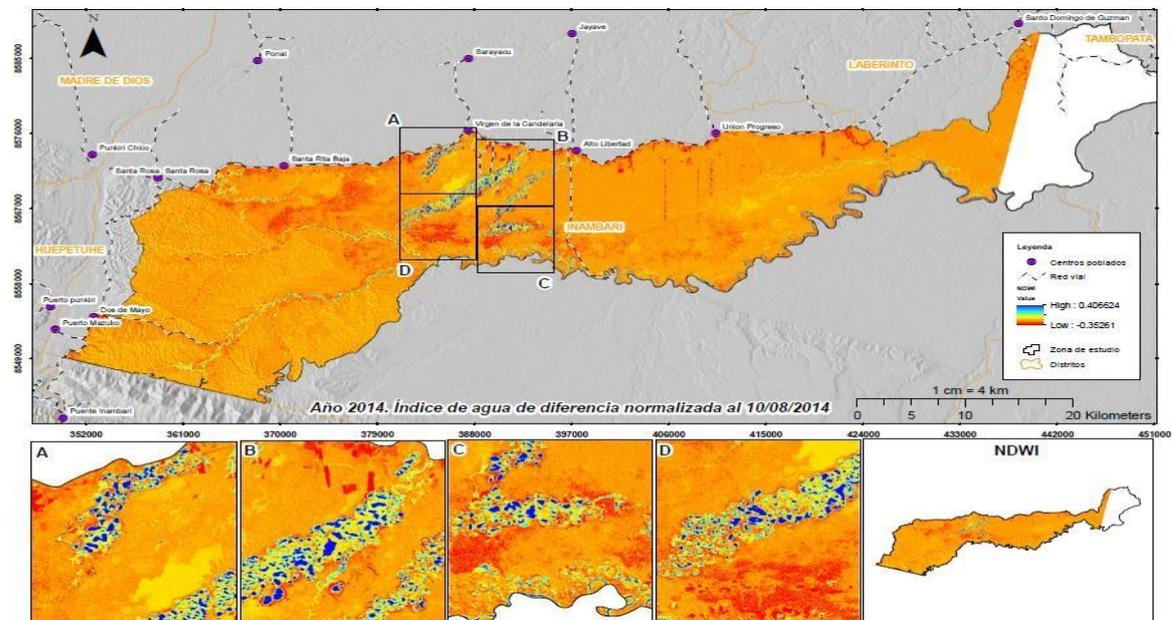
En el análisis geoespacial de la Figura 17.A, se evidencia la región conocida como Km108 La Pampa en el año 2014, donde el índice de agua normalizado NDWI revela un notable aumento en los cuerpos de agua.

Este fenómeno puede asociarse a la actividad de minería ilegal que caracteriza la zona. La Figura 17.B destaca la zona de La Pampa, identificándola como un área afectada por la minería ilegal, mientras que la Figura 17.C ilustra la presencia del río Malinoski, indicando posibles impactos hídricos asociados a estas actividades. Por último, la Figura 17.D representa la zona de amortiguamiento, subrayando la importancia de implementar medidas de conservación y control ante la expansión de la minería ilegal. Este análisis geoespacial proporciona una perspectiva crítica sobre los efectos de la actividad minera no regulada en la dinámica ambiental, subrayando la necesidad de abordar y mitigar los impactos negativos asociados con la minería ilegal en la región.

En general, el uso del NDWI proporciona una herramienta valiosa para la detección de cambios en el agua y puede ser crucial para monitorear y abordar actividades potencialmente perjudiciales, como la minería ilegal, en áreas protegidas como la Reserva Nacional de Tambopata

Figura 17

Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2014 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



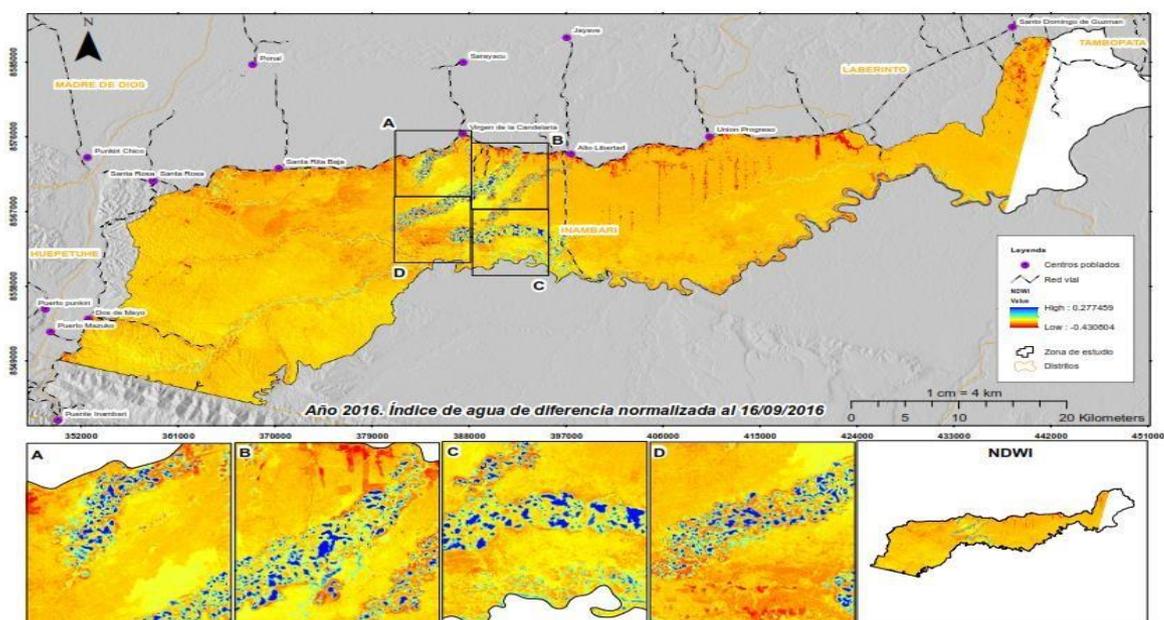
Nota. El análisis del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata en 2014 revela áreas de interés relacionadas con posibles actividades de minería ilegal

De acuerdo a la figura 18, presenta zona de amortiguamiento en la Reserva Nacional Tambopata en 2016 se muestra utilizando el Índice Normalizado de Agua (NDWI). con el fin de resaltar áreas con características de agua. En dicha representación, destacan de manera evidente las zonas A, B, C y D. Estas áreas específicas, ilustradas de manera distintiva en la figura, sugieren la posible presencia de minería ilegal, manifestada a través de diversos tipos de cobertura.

En la evaluación geoespacial de la Figura 18.A para el año 2018, se destaca la región conocida como 108 La Pampa, evidenciando un incremento progresivo de los cuerpos de agua según el índice NDWI. Este fenómeno es causa por la minería ilegal e informal, como se indica en la Figura 18.B, que resalta La Pampa como área afectada por esta práctica. Figura 18.C muestra el Río Malinoski, sugiriendo posibles consecuencias hídricas derivadas de la actividad minera. Figura 18.D, que representa la zona de amortiguamiento, subraya la urgencia de abordar los impactos ambientales negativos asociados con la minería ilegal y la necesidad de implementar medidas de conservación. Este análisis proporciona una visión concisa del aumento progresivo de cuerpos de agua y su relación con la actividad minera ilegal en la región para el año 2016.

Figura 18

Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2016 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios

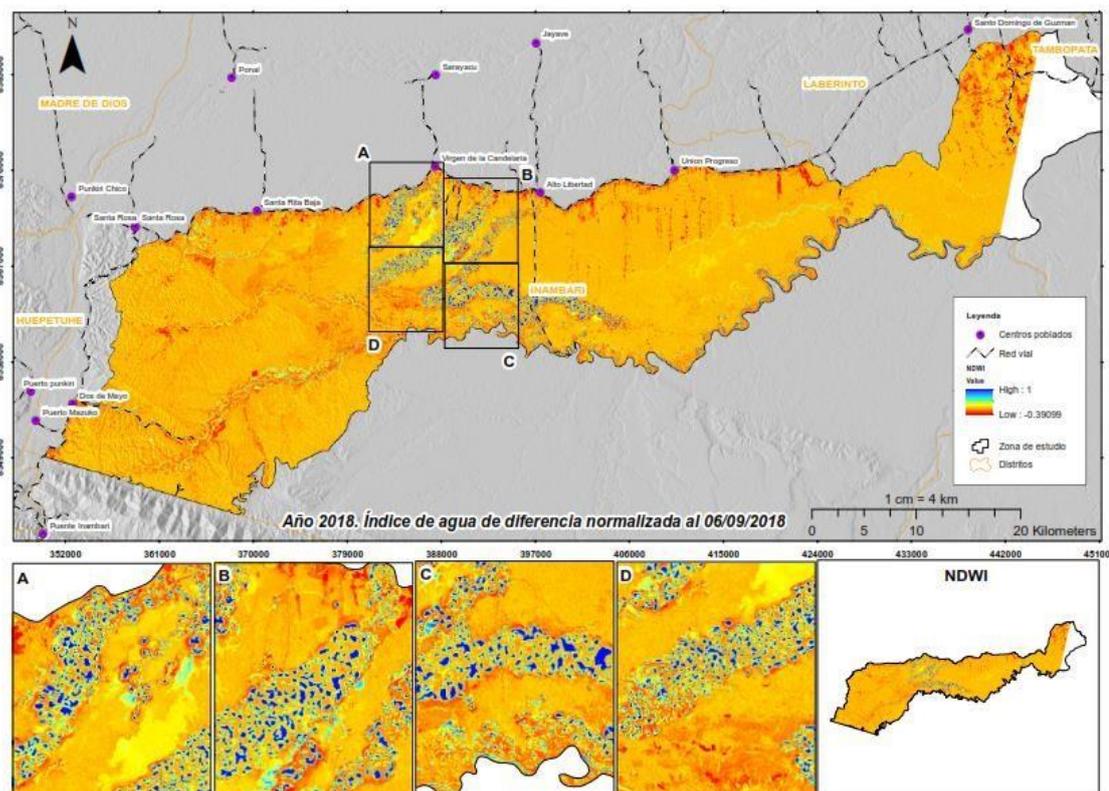


Según la (figura 19) presenta la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata para el año 2018, donde se empleó el Índice Diferencial de agua Normalizado (NDWI) con el fin de resaltar áreas con características de agua. En dicha representación, destacan de manera evidente las zonas A, B, C y D. Estas áreas específicas, ilustradas de manera distintiva en la figura, sugieren la posible presencia de minería ilegal, manifestada a través de diversos tipos de cobertura.

En la evaluación geoespacial de 2018 (Figura 19.A), se destaca un incremento progresivo de cuerpos de agua en la región 108 La Pampa, atribuido a la persistente minería ilegal, evidenciada en la Figura 19.B. La presencia del río

Figura 19

Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2018 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios

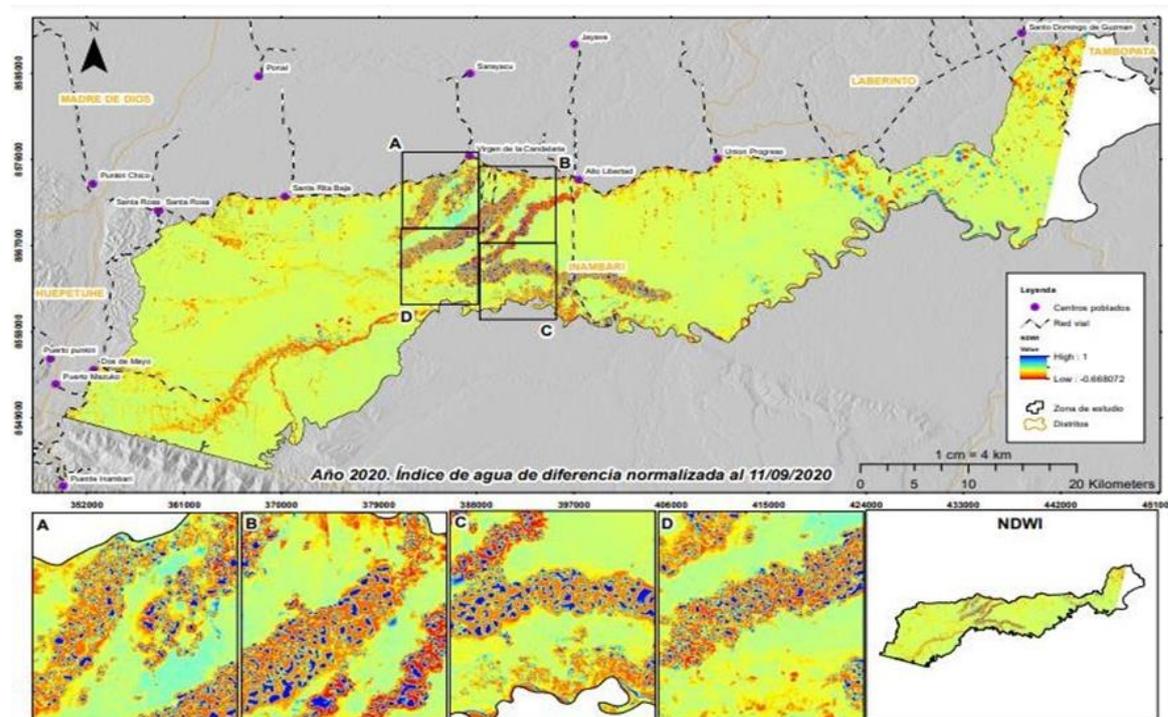


Malinoski (Figura 19.C) sugiere consecuencias hídricas asociadas con la extracción de oro. La Figura 19.D, representando la zona de amortiguamiento, resalta la urgencia de abordar los impactos negativos de la minería ilegal y la importancia de medidas conservacionistas. Este análisis breve destaca el problema de la minería ilegal y su relación con la formación de cuerpos de agua en Madre de Dios en 2018.

Según la figura 20, presenta la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata para el año 2020, donde se empleó el Índice Diferencial de agua Normalizado (NDWI) con el fin de resaltar áreas con características de agua. En dicha representación, destacan de manera evidente las zonas A, B, C y D. Estas áreas específicas, ilustradas de manera distintiva en la figura, sugieren la posible presencia de minería ilegal, manifestada a través de diversos tipos de cobertura.

Figura 20

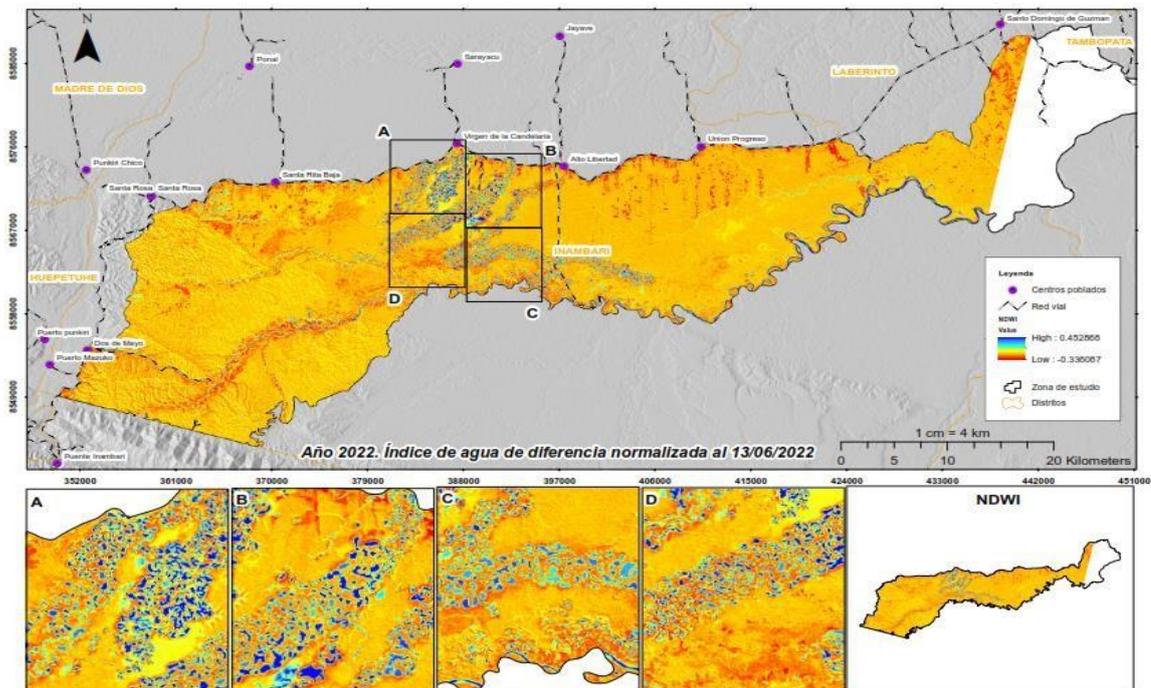
Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2020 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



La figura 21 presenta la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata para el año 2022, donde se empleó el Índice Diferencial de agua Normalizado (NDWI) con el fin de resaltar áreas con características de agua. En dicha representación, destacan de manera evidente las zonas A, B, C y D. Estas áreas específicas, ilustradas de manera distintiva en la figura, sugieren la posible presencia de minería ilegal, manifestada a través de diversos tipos de cobertura. En 2022, la Figura 21.A revela un aumento progresivo de cuerpos de agua en La Pampa (108), sugiriendo la influencia de la minería ilegal de oro, evidenciada en la Figura 21.B. La presencia del río Malinoski (Figura 21.C) refuerza la conexión. La Figura 21.D destaca la urgencia de abordar los impactos y promover conservación.

Figura 21

Análisis de clasificación no supervisada mediante NDWI correspondiente al año 2022 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



A.3. Índice de Vegetación Ajustado al suelo (SAVI).

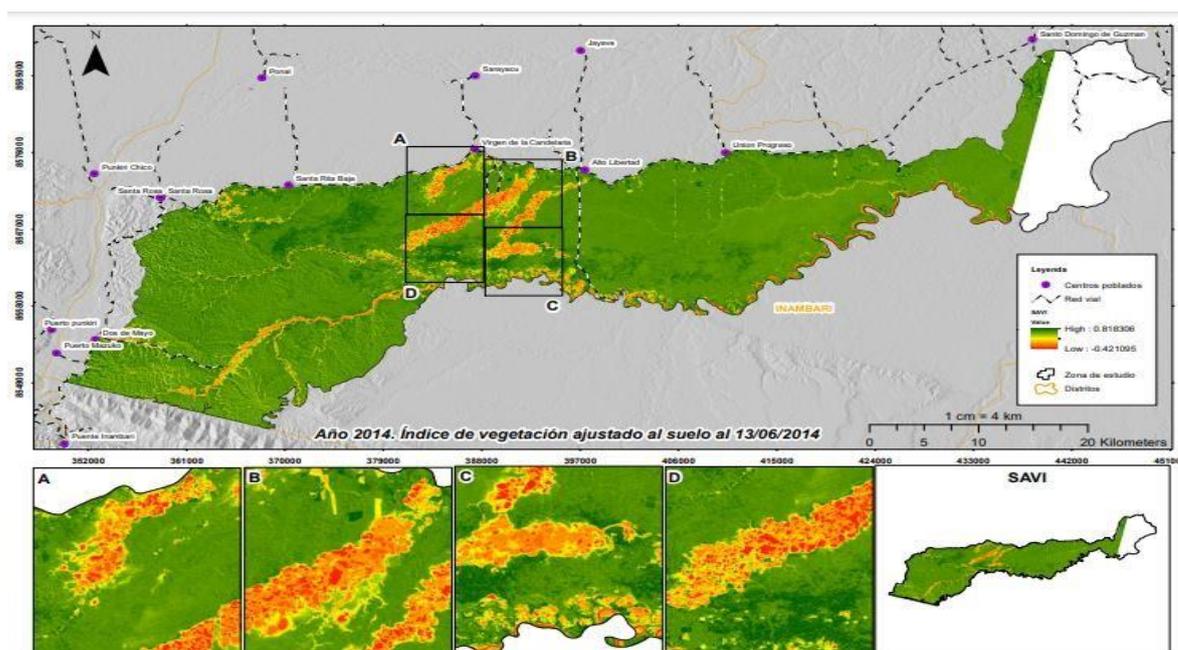
Según la figura 22, se presenta la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa para el año 2014 el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el cual detalla la vegetación. En la que se destaca las áreas designadas como A, B, C y D, las cuales se observan prominentemente en la figura y señalan los lugares más afectados. Esta clasificación nos permite identificar con más precisión las áreas con impacto, proporcionando información detallada sobre la vitalidad y condición de la vegetación en estos puntos específicos.

Mediante la evaluación geoespacial en Rstudio, la Figura 22A. Para el periodo 2014, se pudo destacar donde el índice de vegetación es significativo y está en proceso de degradación, esto fenómeno se puede asociar a la alta demanda de la actividad minera que se caracteriza en la zona. La Figura 22B. Cabe destacar el proceso de degradación por la actividad minera, mientras en la Figura 22C. Se caracteriza como zona afectada por la actividad minera

significativo en la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa y por último en la Figura 22D. Representa la zona de amortiguamiento con impacto significativo en la degradación del suelo.

Figura 22

Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2014 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



En la figura 23 se presenta el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el cual detallada la vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa del año 2016. En la que se destaca las áreas designadas como A, B, C y D, las cuales se observan prominentemente en la figura y señalan los lugares más afectados. Esta clasificación nos permite identificar con más precisión las áreas con impacto, proporcionando información detallada sobre la vitalidad y condición de la vegetación en estos puntos específicos.

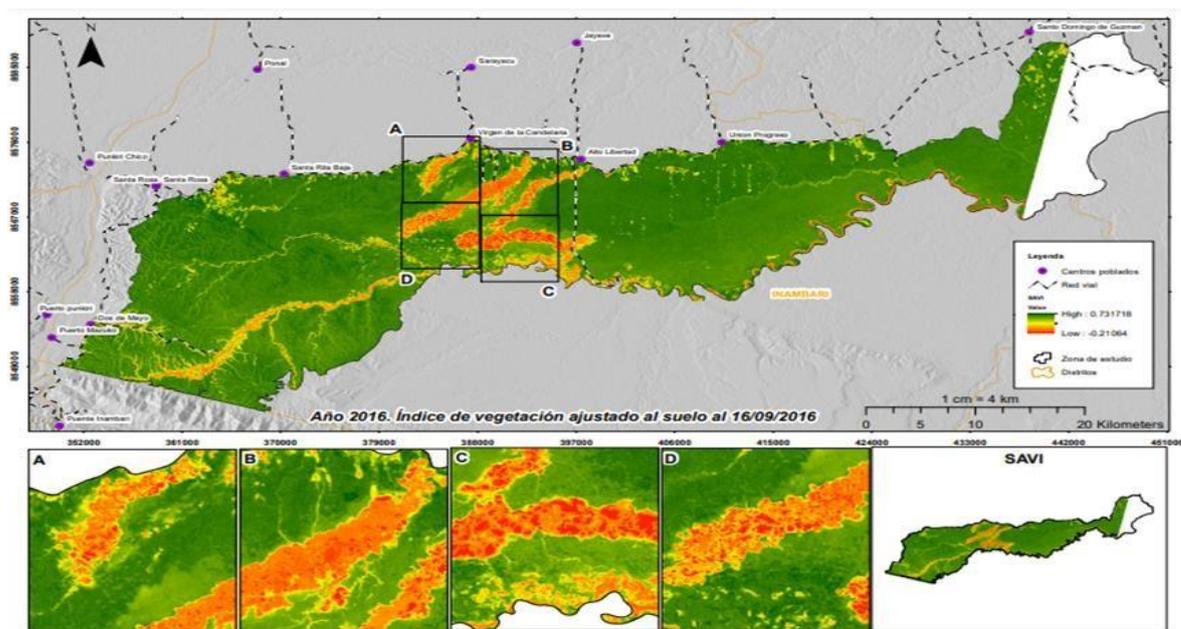
A través del análisis geoespacial en Rstudio, se presenta la Figura 23A, evidenciando las áreas con índices significativos de vegetación en proceso de degradación durante el año 2016. En este periodo, se observa una disminución notoria en la cobertura vegetal, fenómeno que puede asociarse a la elevada demanda generada por la actividad minera característica de la región. La Figura 23B destaca expresamente el proceso de degradación vinculado a la actividad minera, ofreciendo una visión detallada de los impactos durante este año en particular.

En la Figura 23C, se identifica una zona considerablemente afectada por la actividad minera en el área de amortiguamiento, particularmente en el sector de La Pampa.

Finalmente, la Figura 23D ilustra la zona de amortiguamiento con un impacto significativo en la degradación del suelo, subrayando la urgencia de abordar los efectos negativos asociados con la minería. Este análisis proporciona una perspectiva detallada sobre la disminución de la vegetación experimentada en el año 2016, resaltando la necesidad crítica de implementar medidas de conservación y mitigación ante los impactos ambientales adversos relacionados con la actividad minera.

Figura 23

Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2016 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



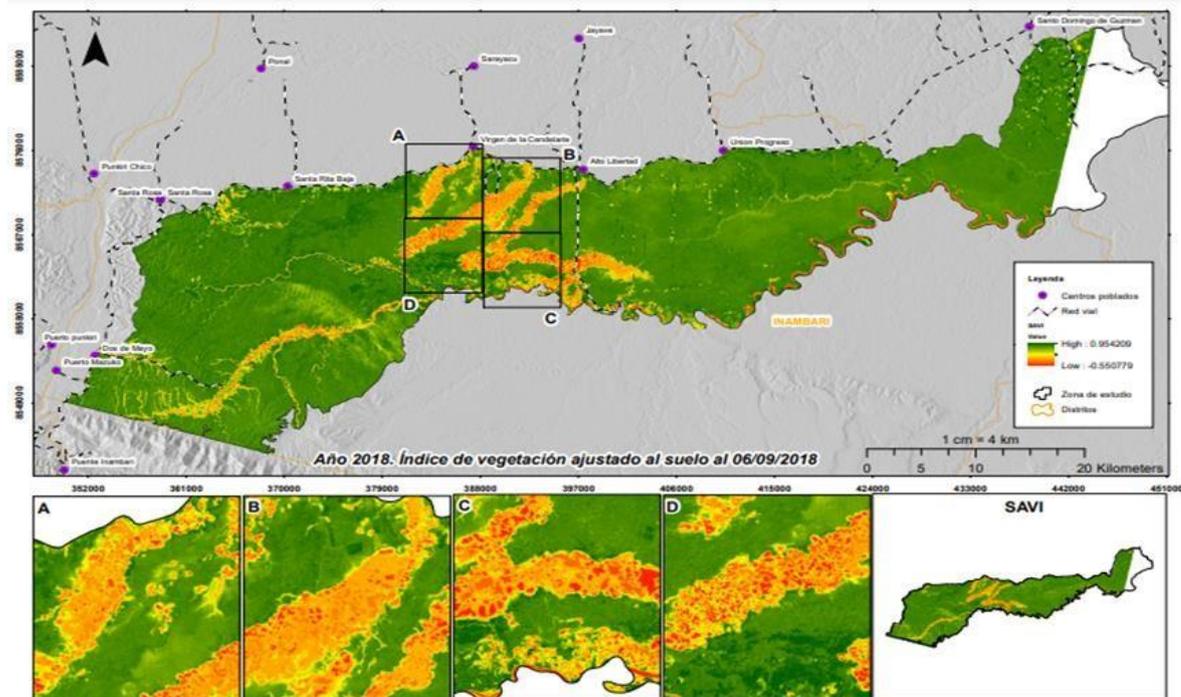
En la figura 24, se presenta el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el cual detallada la vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa del año 2018. En la que se destaca las áreas designadas como A, B, C y D, las cuales se observan prominentemente en la figura y señalan los lugares más afectados. Esta clasificación nos permite identificar con más precisión las áreas con impacto, proporcionando información detallada sobre la vitalidad y condición de la vegetación en estos puntos específicos.

A través del análisis geoespacial en Rstudio, se presenta la Figura 24A., la cual resalta las áreas donde el índice de vegetación muestra signos significativos de degradación durante el año 2018. Este período se distingue por una considerable degradación del suelo, la cual se vincula con la elevada demanda asociada a la actividad minera prevalente en la región. La Figura 24B. destaca de manera explícita el proceso de degradación causado por la actividad minera, enfocándose en los impactos notables durante este año particular.

En la Figura 24C., se observa una zona significativamente afectada por la actividad minera en el área de amortiguamiento, especialmente en el sector de La Pampa. Por último, la Figura 24D. ilustra la zona de amortiguamiento con un impacto considerable en la degradación del suelo, resaltando la urgencia de abordar los efectos negativos asociados con la minería. Este análisis proporciona una visión detallada de la marcada degradación del suelo experimentada en el año 2018, destacando la necesidad crítica de implementar medidas de conservación y mitigación ante los impactos ambientales adversos vinculados a la actividad minera.

Figura 24

Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2018 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



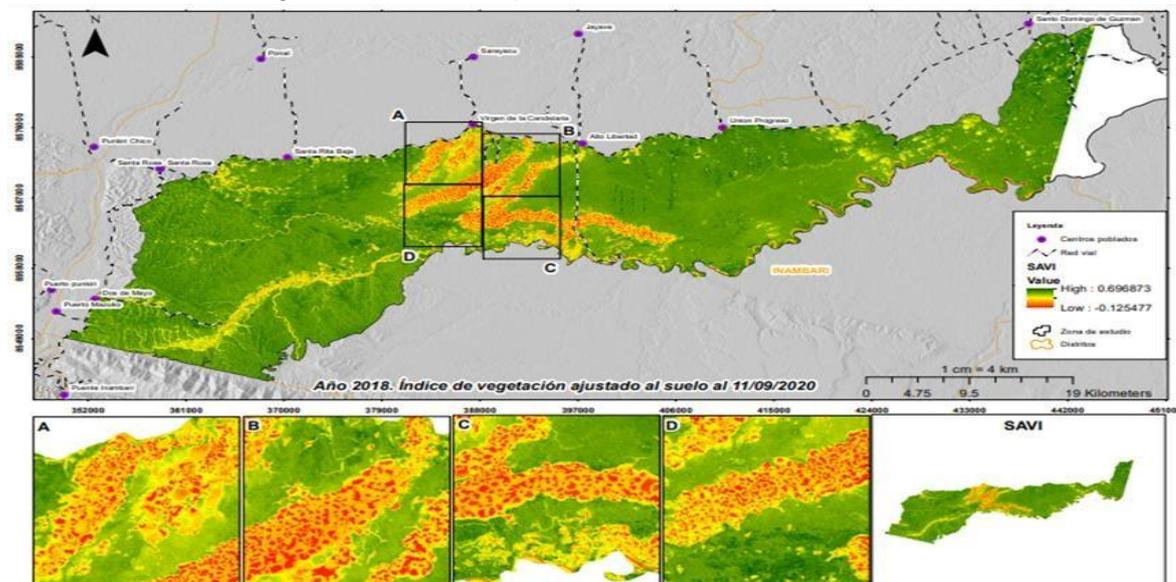
En la (figura 25), se presenta el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el cual detallada la vegetación en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de

Tambopata del año 2020. En la que se destaca las áreas designadas como A, B, C y D, las cuales se observan prominentemente en la figura y señalan los lugares más afectados. Esta clasificación nos permite identificar con más precisión las áreas con impacto, proporcionando información detallada sobre la vitalidad y condición de la vegetación en estos puntos específicos.

En el análisis geoespacial de la Figura 25A para el año 2020, se resalta la región identificada como Km108 La Pampa, evidenciando la disminución de vegetación según el índice SAVI. Este fenómeno se atribuye a la presencia de minería ilegal e informal, tal como se señala en la Figura 25B, que destaca a La Pampa como una zona afectada por esta práctica. La Figura 25C, centrada en el río Malinoski, sugiere posibles consecuencias de la erosión del suelo derivada de la actividad minera. Asimismo, la Figura 25D, que representa la zona de amortiguamiento, subraya la apremiante necesidad de abordar los impactos ambientales negativos asociados con la minería ilegal y destaca la urgencia de implementar medidas de conservación.

Figura 25

Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2020 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



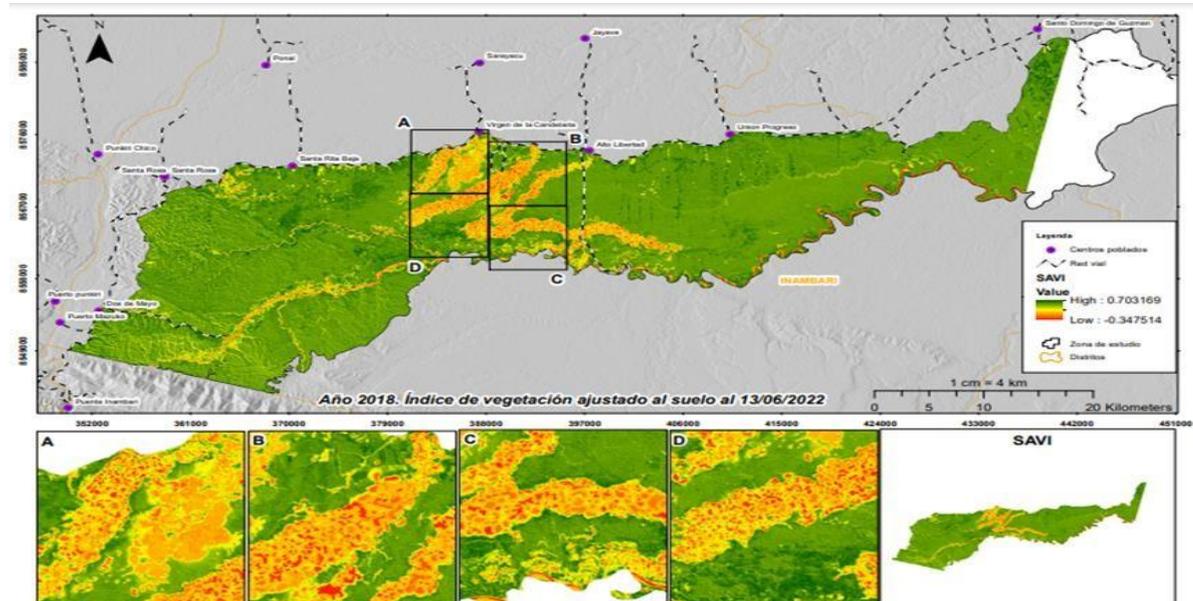
En la figura 26, se presenta el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el cual detallada la vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa del año 2022. En la que se destaca las áreas designadas como A, B, C y D, las cuales se observan prominentemente en la figura y señalan los lugares más afectados. Esta

clasificación nos permite identificar con más precisión las áreas con impacto, proporcionando información detallada sobre la vitalidad y condición de la vegetación en estos puntos específicos.

A través del análisis geoespacial en Rstudio, se presenta la Figura 26A., la cual resalta las áreas donde el índice de vegetación muestra signos significativos de degradación durante el año 2022. Este fenómeno puede vincularse con la intensa actividad minera que caracteriza la región. La Figura 26B. enfatiza el proceso de degradación causado por la actividad minera, mientras que la Figura 26C. destaca una zona particularmente afectada en el área de amortiguamiento, específicamente en el sector de La Pampa. Por último, la Figura 26D. ilustra la zona de amortiguamiento con un impacto considerable en la degradación del suelo. Este análisis revela patrones claros de deterioro ambiental, especialmente en áreas cercanas a la actividad minera.

Figura 26

Análisis de clasificación no supervisada mediante SAVI correspondiente al año 2022 en la zona de amortiguamiento Tambopata Madre de Dios



4.2. Delimitación de la degradación del suelo

Para la clasificación de las categorías se determinaron tres categorías; 1.

Vegetación (Bosque y áreas con vegetación Pacales y Arbustivos), 2. Cuerpos de agua (Superficies de Agua y Áreas sin Vegetación - playas), y 3. suelos (Área de Extracción Minera, Áreas Agrícolas, y Aguas de disposición Residual) (figura 27).

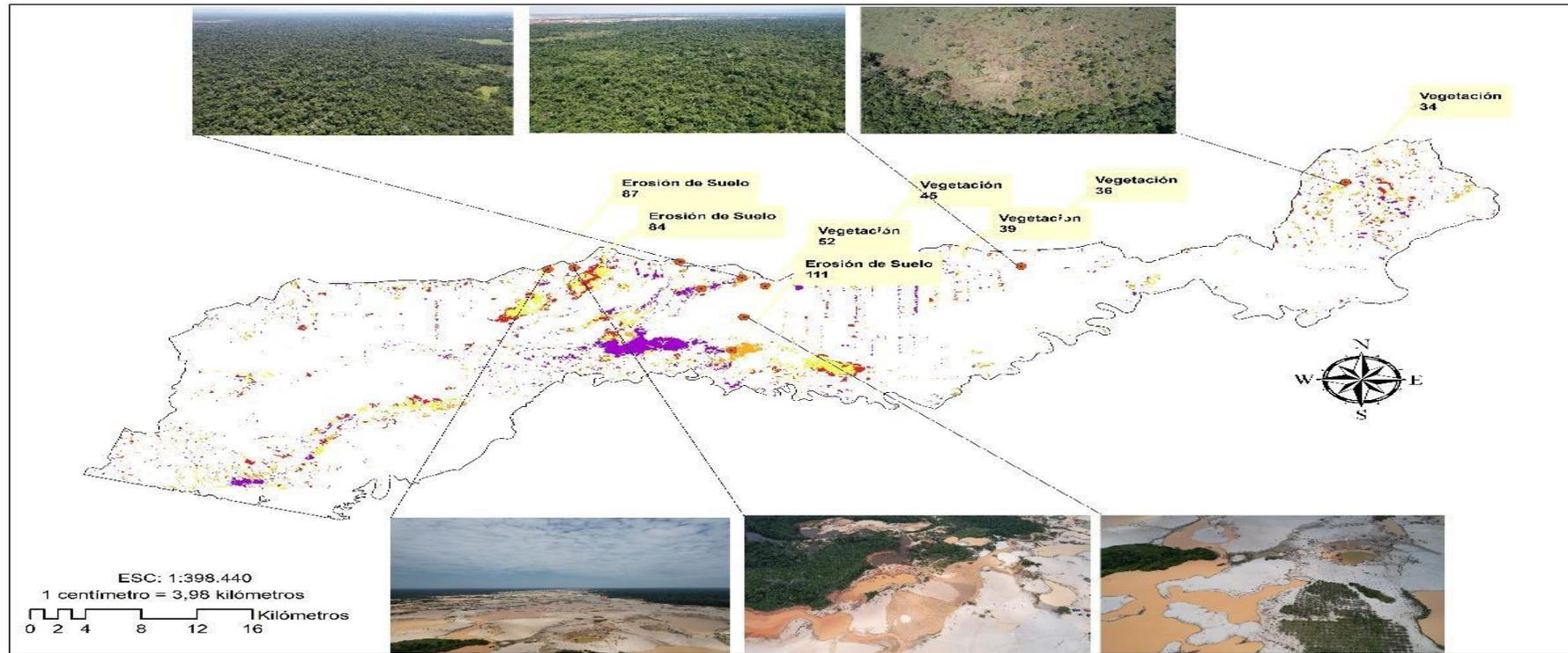
Tabla 15

Puntos de muestreo con coordenadas en la zona de amortiguamiento

Puntos de Muestreo	Tipo de Muestreo	Este (x)	Norte (y)
34	Vegetación	440846,95	8584043,82
36	Vegetación	417507,38	8574026,19
39	Vegetación	410579,12	8573875,55
45	Vegetación	404907,9	8573424,92
46	Vegetación	399086,39	8571655,52
52	Vegetación	397558,02	8567965,24
30	Erosión de Suelo	397407,57	8572646,37
33	Erosión de Suelo	394498,74	8571356,25
61	Erosión de Suelo	39293,47	8574564,43
84	Erosión de Suelo	385356,54	8573847,43
87	Erosión de Suelo	383455,95	8573662,77
111	Erosión de Suelo	396659,27	8564005,66

Figura 27

Validación de puntos de clasificación supervisada con Drone en la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa – Madre de Dios



Nota: La imagen muestra puntos de verificación para la clasificación de observaciones con drones; los puntos de verificación se utilizaron para observaciones de investigación. También se realizó monitoreo de campo, ver (Fig. 27) para considerar un método alternativo para validar los resultados obtenidos en el modelo de tres categorías de clasificación.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de Resultados con otras Investigaciones

De acuerdo con Barba, (2018), en su estudio titulado “Análisis prospectivo del proceso de deforestación en el sector la Pampa – Guacamayo, Tambopata – Madre de Dios, periodo 1999 al 2030”, como el objetivo de analizar y modelar el cambio de cobertura vegetal con la intención de determinar las zonas deforestadas entre los años 1999 al 2011 y 2016 al 2023. En el presente estudio se encontró que la deforestación alcanzó para el año 2016 2449 hectáreas, estos datos concuerdan en cierta medida al estudio realizado Barba, (2018), no obstante, la deforestación que menciona es de 17 039.29 hectáreas, esto es debido a que su estudio es su prospectiva o estimación al 2030. Cabe mencionar que nuestro estudio se extiende solo en la zona de amortiguamiento y no todo el sector la Pampa que esta incluye ambos márgenes del eje carretero interoceánica.

En el estudio de Nalvarte & Mamani, (2021), titulado “Análisis espacio temporal del uso de suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite landsat en la microcuenca Manuripe-Madre de Dios, períodos 2004-2020”, que tuvo como objetivo principal evaluar el cambio espacial y temporal del uso de suelo en zonas castañera en la provincia de Tambopata y Tahuamanu. De acuerdo a los resultados encontrados en el presente estudio se muestra que la deforestación del bosque tiene como principal causa a la minería ilegal, por otro lado el estudio realizado por (Nalvarte & Mamani, (2021), que determinó el cambio de uso de suelo muestra que para el año 2014 el cambio de bosque a agricultura es de 147,37 hectáreas, por consiguiente se puede decir que la deforestación en ambos casos es muy diferenciable debido a que es significativa pero con actividades causantes muy diferentes.

En el estudio titulado “Análisis de la deforestación de la Amazonia peruana: Madre de Dios Análise of the deforestation of the Peruvian Amazon: Madre de Dios Análisis de deforestación de Amazonía peruana: Madre de Dios”, con el objetivo de sistematizar las evidencias de la deforestación y determinar los principales factores de pérdida de bosques en el departamento de Madre de Dios Luque-Ramos, (2021), se pudo encontrar que para el año 2017 se determinó una deforestación de 9,860 hectáreas estos datos coinciden con lo encontrado en este

estudio fue de 4227 hectáreas, sin embargo se puede observar que la diferencia es el doble encontrado por Luque, no obstante eso se puede atribuir a que el estudio que realizo fue a todo el departamento de Madre de Dios.

Alva-Avila et al., (2023), en su estudio titulado “Deforestación en Madre de Dios: Un infierno para la biodiversidad”, donde menciona que tiene como objetivo informar sobre el impacto que causa la deforestación en la biodiversidad de este departamento, teniendo como resultado que hay un aumento significativo de la deforestación en el periodo de 1999 al 2021. Para 2014 se reporta 1988 hectáreas, un dato cercano a lo encontrado en este estudio, que fue de 3512 hectáreas, pero en 2018 la deforestación fue de 2841.

CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados, los resultados obtenidos a través del análisis de imágenes satelitales y respuestas espectrales han proporcionado información valiosa sobre la explotación minera en la zona de La Pampa - Puerto Maldonado. La dinámica temporal entre 2014 y 2022 revela un aumento exponencial en la deforestación, especialmente en áreas con actividad minera, como se evidencia en las Figuras 5 y 6. La clasificación de la imagen mediante el Índice de Diferencia Normalizada (NDVI) destaca que la actividad minera es el principal impulsor del cambio de cobertura vegetal, representando un riesgo significativo para la Amazonía.

En relación con la calidad actual de la degradación del suelo, los resultados indican que la explotación minera ha tenido un impacto considerable en la región. Los niveles de deforestación fluctúan entre los años, siendo el 2018 el período con la mayor pérdida de bosque, llegando a 4227 hectáreas. Este análisis se apoya en la evaluación de la degradación del suelo y la distribución de la cobertura, donde se destaca que el bosque cubre el 87.74% de la zona estudiada.

Además, se ha logrado la elaboración de mapas temáticos que muestran la distribución espacial de los diferentes tipos de cobertura en la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional de Tambopata. La relación entre la minería ilegal y la formación de cuerpos de agua se destaca en los análisis geoespaciales de las Figuras 17, 18, 19, 21, y 22, donde se identifican claramente las zonas afectadas y se evidencia la urgencia de abordar los impactos ambientales negativos asociados con la minería ilegal.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al Ministerio del Ambiente (MINAM) realizar una investigación a través de la unidad encargada de analizar los daños territoriales y ambientales, la vida silvestre y las comunidades indígenas.

Realizar estudios de restauración en zonas poco degradadas; El impacto de los cuerpos de agua, la regeneración natural y los bosques secundarios adyacentes es uno de gran potencial para la introducción de especies pioneras en varias zonas afectadas.

Se recomienda realizar procesamiento y monitoreo mensual para analizar el fuerte avance que avanza la deforestación por la actividad minera.

El Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD) debe implementar el Sistema de Monitoreo y Protección de la Amazonía (SIV AN 1 SIP AM), cuyos miembros deben tomar medidas integrales para buscar y promover el desarrollo sostenible del medio ambiente regional protección y seguridad.

El avance tecnológico en teledetección espacial permite el monitoreo de la Zona de amortiguamiento en el sector la Pampa casi en tiempo real, porque lo es necesario, que las entidades gubernamentales vinculadas con la gestión del territorio incorporen centros o unidades especializadas en el área.

La deforestación es un problema global que requiere responsabilidad y una política nacional clara. El monitoreo de la deforestación utilizando tecnologías de teledetección y sistemas de información geográfica es oportuno y necesario para detectar y localizar la deforestación, por lo que los gobiernos, académicos e instituciones de investigación científica en todos los niveles deberían implementarlo.

Trabajar con una computadora que cuente con un sistema operativo eficiente y una memoria RAM adecuada es esencial, ya que el procesamiento de estas imágenes

lleva consigo una considerable demanda de tiempo y espacio de memoria en el disco duro, dado que los archivos utilizados en el proceso superan los 5 gigabytes de peso.

Para abordar la creciente deforestación impulsada por la minería ilegal en la zona de amortiguamiento en el sector la Pampa, se recomienda implementar un enfoque integral. Se debe fortalecer la vigilancia y control en áreas críticas, mejorando la coordinación entre autoridades y comunidades locales. Además, es crucial fortalecer la legislación ambiental, promover prácticas económicas sostenibles para reducir la dependencia de la minería ilegal, y fomentar la educación ambiental en las comunidades locales. La colaboración con ONG y la sociedad civil, el monitoreo continuo con tecnologías avanzadas, y la coordinación internacional son elementos esenciales para abordar este desafío y garantizar la conservación a largo plazo de esta importante área natural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, R., Falcon, I., Hinsbi, N., Ramírez, C., Saravia, J., Valverde, S., & Malca, N. (2023). Deforestación en Madre de Dios: Un infierno para la biodiversidad. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e24189. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.24189>
- Alva-Avila, R. O., Falcon Briones, I. D., Hinsbi-Aguirre, N. A. L., Ramírez-Vega, C. A., Saravia-Inocencio, J. F., Valverde-Ashcalla, S. L., & Malca-Casavilca, N. R. C. (2023). Deforestación en Madre de Dios: Un infierno para la biodiversidad. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e24189. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.24189>
- Artola, A. (2019). *Clasificación de Imágenes usando redes neuronales convolucionales en Python*. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/89506/TFG-2402>
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/89506/TFG-2402-ARTOLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barba, D. (2018). *Análisis prospectivo del proceso de deforestación en el sector la Pampa – Guacamayo, Tambopata – Madre de Dios, periodo 1999 al 2030* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://hdl.handle.net/20.500.14070/415>
- Centro de Estudios sobre Minería y la Sostenibilidad. (2020). *Cadena de Valor del oro proveniente de la minería artesanal y de pequeña escala de Madre de Dios: Diagnostico, oportunidades, propuestas*. https://preveniramazonia.pe/wp-content/uploads/Cadena-de-valor_FINAL_V3.pdf
- Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de la Teledetección Espacial. In s (Ediciones Rialp S.A.). 1995 Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana - IIAP, & Ministerio del Ambiente. (2011). *Una bomba de tiempo Informe preparado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana-IIAP y El Ministerio*

del Ambiente.
https://biblioteca.spda.org.pe/biblioteca/catalogo/_data/2020101420

[0001 Minería%20Aurifera.pdf](#)

International Institute for environment and Development. (2002). *Minería artesanal y en pequeña escala* (Vol. 13).
<https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00687.pdf>

Luque-Ramos, L. (2021). Analysis of the deforestation of the Peruvian Amazon: Madre de Dios. *Revista Innova Educación*, 3(3), 198–212.
<https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.013.en>

Nalvarte, G., & Mamani, M. (2021a). *Análisis espacio temporal del suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite lansat en la microcuenca Manuripe-Madre de Dios, periodos 2004-2020*. 1–98.
<https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/780/004-2-3-120.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[80/004-2-3-120.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Nalvarte, G., & Mamani, M. (2021b). *Análisis espacio temporal del uso de suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite landsat en la microcuenca Manuripe-Madre de Dios, períodos 2004-2020* [Universidad Nacional Amazonica de Madre de Dios].
<http://hdl.handle.net/20.500.14070/780>

Oficina de las Naciones Unidas. (2011). *INFORME MUNDIAL SOBRE LAS DROGAS*.
https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/WDR2011/World_Drug_Report_2011_spanish.pdf
https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/WDR2011/World_Drug_Report_2011_spanish.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2016). *El estado de los bosques del mundo*. <https://www.fao.org/3/i5588s/i5588s.pdf>

Orlando Olivares, B., & López-Beltrán, M. A. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *UNED Research Journal*, 11(2), 112–121.
<https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>

Osores, F., Eduardo, J., & Hermógenes, C. (2012). Minería Informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud Pública. *Acta Med Per*, 29(1), 38.

<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172859172012000100012&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1728-5917.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2015). *Ley Forestal y de Fauna Silvestre N°29763 y sus reglamentos*.
<file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/LFFS-Y-SUS-REGLAMENTOS.pdf>

Torres, V. (2015). *Minería Ilegal e Informal en el Perú: Impacto socioeconómico*.
https://cooperacion.org.pe/wp-content/uploads/2015/10/Libro_Mineria_Ilegal,%20Victor%20Torres%20Cuzcano.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensión	Indicador	Metodología	Estadística
¿Cómo determinar la degradación del suelo por la explotación minera, en La Pampa – Puerto Maldonado?	Delimitar la degradación del suelo por la explotación minera, en La Pampa – Puerto Maldonado	La explotación minera, en La Pampa – Puerto Maldonado, genera degradación del suelo	Degradación de suelo	Suelos	Área (ha.)	Procesamiento de imágenes satelitales	No Experimental
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		Vegetación	Área (ha.)	ARGIS	
¿Cuáles son las zonas afectadas por la explotación minera?	Determinar las zonas afectadas por la explotación minera en La Pampa – Puerto Maldonado	Existen zonas afectadas por la explotación minera en La Pampa – Puerto Maldonado	Explotaciones mineras				
¿Cómo determinar la degradación del suelo por la explotación minera?	Determinar las zonas afectadas por la explotación minera en La Pampa – Puerto Maldonado	Es posible evaluar la degradación de suelo, haciendo uso de un SIG		¿Cuáles son los impactos de la degradación del suelo por la explotación minera?	Determinar los niveles de degradación del suelo, haciendo uso de mapas temáticos.	Existen niveles altos de degradación de suelo.	

Anexo 2: Validación en campo de la clasificación supervisada en zona de suelos mediante captura de drone



Nota. Se evidencia una notable reducción de la cobertura vegetal en la ubicación de muestreo, localizada en las coordenadas Este 404907.90, Norte 8573424.92, dentro de la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 3: Validación de vegetación punto registrado mediante drone



Nota. La presente observación se centra en la evaluación de la vegetación en el punto de muestreo con coordenadas Este 399086.39, Norte 8571655.52, situado dentro de la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 4: Validación de vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa, registrado mediante drone



Nota. Se observa la vegetación en el punto de muestreo de coordenadas **Este** 397558.02, **Norte** 8567965.24 en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 5: Validación de erosión de suelo por explotación minera registrado mediante drone



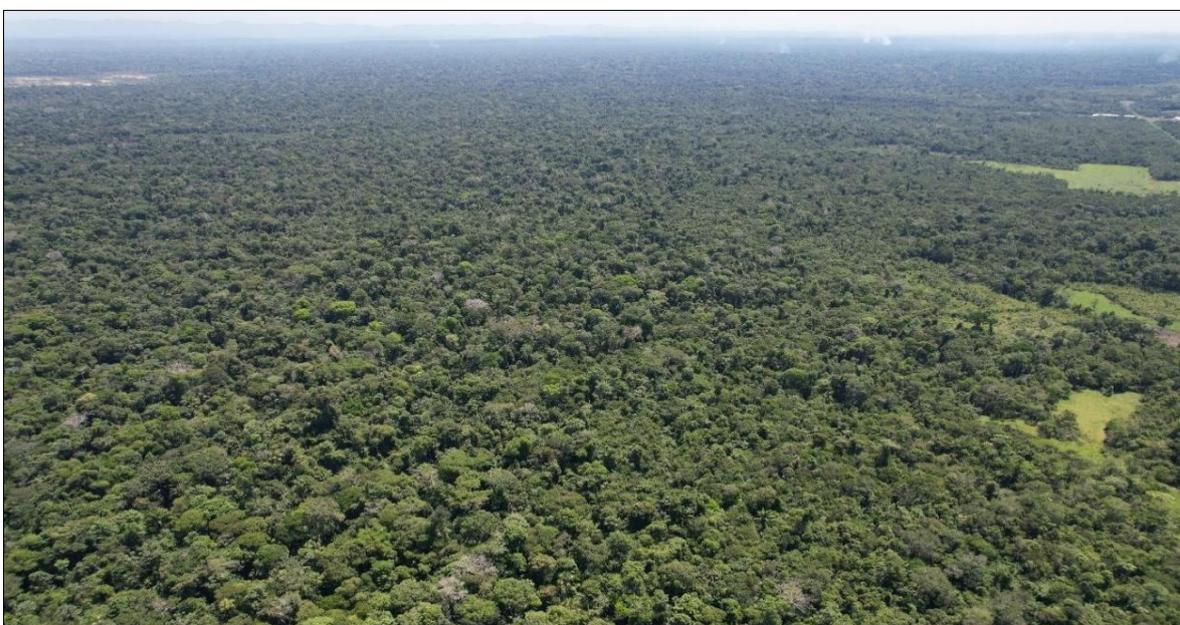
Nota. Se observa una disminución significativa de la cobertura vegetal en el punto de muestreo, ubicado en las coordenadas Este 417507.38, Norte 8574026.19, dentro de la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 6: Disminución de vegetación para el uso de la actividad minera registrado mediante drone



Nota. Se observa la disminución de vegetación en el punto de muestreo de coordenadas **Este** 417507.38, **Norte** 8574026.19 en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 7: Validación vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa, registrado



Nota. Se observa la disminución de vegetación en el punto de muestreo de coordenadas **Este** 440846.95, **Norte** 8584043.82 en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 8 : Validación vegetación en la zona de amortiguamiento en el sector la pampa, registrado



Nota. Se observa la disminución de vegetación en el punto de muestreo de coordenadas **Este** 417507.38, **Norte** 8574026.19 en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 9: Validación cuerpo de agua en la zona de amortiguamiento registrado mediante drone en el sector la PAMPA



Nota. Se evidencian cuerpos de agua generados como consecuencia de la actividad minera en el punto de muestreo con coordenadas Este 396659.27, Norte 8564005.66, en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 10: Cuerpos de agua en la zona de amortiguamiento de punto de muestreo en el sector la pampa



Nota. Se aprecian cuerpos de agua en el punto de muestreo, ubicado en las coordenadas Este 397407.57, Norte 8572646.37, dentro de la zona de amortiguamiento de Madre de Dios

Anexo 11: Validación cuerpo de agua por la actividad minera registrado mediante drone



Nota. Se observa los cuerpos de agua ocasionado por la actividad minera en el punto de muestreo de coordenadas **Este** 392939.47, **Norte** 8574564.43 en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 12: Erosión de suelo mediante drone



Nota. Se observa la disminución de vegetación en el punto de muestreo de coordenadas **Este** 417507.38, **Norte** 8574026.19 en la Reserva Nacional de Áreas Protegidas de Madre de Dios

Anexo 13: Manejo de drone para identificación de puntos DE MUESTREO



Nota. Se observa la aplicación de tecnología de drones en la zona de amortiguamiento de Madre de Dios, utilizada para la identificación de los puntos de muestreo