Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN TARAPOTO - PERU

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

Obra publicada con autorización del autor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A NIVEL DE PREGRADO 2020

Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Yadira Lizeth Cortez Requejo

ASESOR:

Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardález

Código N° 6058819

Moyobamba – Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

CONCURSO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN PARA TESIS A NIVEL DE PREGRADO 2020

Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio

AUTORA:

Yadira Lizeth Cortez Requejo

Sustentado y presentado el 27 de octubre del 2021, por los siguientes jurados

…….	…….
Ing. M.Sc. Rubén Ruiz Valles	**Ing. Ángel Tuesta Casique**
Presidente	**Secretario**
…….	…….
Lic. M.Sc. Roydichan Olano Arévalo	**Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález**
Miembro	**Asesor**

Declaratoria de autenticidad

Yadira Lizeth Cortez Requejo, con DNI N° 73514800**,** bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autora de la tesis titulada: **Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio.**

Declaro bajo juramento que:

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

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

Moyobamba, 27 de octubre del 2021.

Yadira Lizeth Cortez Requejo

DNI N° 73514800

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: Yadira Lizeth Cortez Requejo	
Código de alumno : 73514800	**Teléfono:**
Correo electrónico : ylizeth_c@gmail.com	**DNI:** 73514800

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: Ecologia	
Escuela Profesional de: Ingenieria Ambiental	

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(x)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. Datos del Trabajo de investigación

Titulo : Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Tepelacio.
Año de publicación: 2021

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(x)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons,* con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".**

.....

Firma del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

17 / 10 / 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto – UNSM

.....

Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruíz

Responsable

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

A mis padres Deicelit Requejo y Leónidas Alva, por brindarme su apoyo incondicional y ser la principal razón de una de mis metas

A mis hermanos, por sus palabras de aliento, y siempre estuvieron pendientes del avance de mi carrera

A mi alma mater, mi adorada Facultad de Ecología – Moyobamba, formó parte de una de las mejores etapas de mi vida, me brindó momentos inolvidables. A mis docentes, por brindarme sus conocimientos, en especial a la Ing. Mirtha Felicita Valverde, por su tiempo y conocimientos que me brindó.

A mis compañeras de la carrera de Ingeniería Ambiental Yessica, Juanita y Diana, invitándoles a cumplir sus sueños y seguir contribuyendo al crecimiento de la Facultad de Ecología.

Yadira Lizeth

Agradecimiento

A Dios, por darme la oportunidad de haber conocido a personas que son motivos de inspiración para lograr mis metas, brindarme salud y haberme concluir de manera exitosa esta etapa de mi vida, fortaleciendo lo suficiente para afrontar a cada desafío.

A mis señores padres por ser ese apoyo incondicional y por sus palabras de aliento brindados durante mi formación profesional, y por formar parte en la ejecución de esta investigación. Les debo la vida.

A mi asesor Ing. M. Sc. *Alfonso Rojas Bardález, por apoyarme, orientarme y brindarme su tiempo para desarrollar la investigación.*

Al equipo técnico que contribuyó con la investigación, representaron una pieza fundamental para la culminación de la investigación.

Yadira Lizeth

Índice general

Dedicatoria vi
Agradecimiento vii
Índice general viii
Índice de tablas x
Índice de figuras xi
Resumen xii
Abstract xiii

Introducción 1

CAPÍTULO I: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 4
1.1. Antecedentes 4
1.1.1. Antecedentes internacionales 4
1.1.2. Antecedentes nacionales 5
1.1.3. Antecedentes locales 7
1.2. Marco teórico 8
1.3. Definición de términos básicos 23

CAPÍTULO II: MATERIAL Y MÉTODOS 25
2.1. Material 25
2.2. Métodos 25

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
3.1. Pérdida de cobertura vegetal durante el periodo 2007 - 2019 de la subcuenca Gera 45
3.1.1. Superficie de clasificación durante el año 2007 45
3.1.2. Porcentaje de la clasificación obtenida del año 2007 45
3.1.3. Superficie durante el año 2013 46
3.1.4. Porcentaje de la clasificación obtenida del año 2013 47
3.1.5. Superficie durante el año 2019 47
3.1.6. Porcentaje de la clasificación obtenida del año 2019 48
3.1.7. Comparación de los porcentajes de bosque y no bosque de los años 2007 – 2019 49

3.1.8. Comparación de los porcentajes de área urbana e hidrografía de los años 2007 – 2019 49
3.1.9. Superficie de clasificación durante el periodo 2007 – 2019 50
3.2. Tasa de deforestación en la subcuenca Gera 51
3.3. Determinación de la exactitud temática del mapa de pérdida de cobertura vegetal del año 2019 52
3.4. Discusión de resultados 53

CONCLUSIONES 55

RECOMENDACIONES 56

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 57

ANEXOS 65
Anexo 1: Mapas 66
Anexo 2: Ficha de toma de puntos 74
Anexo 3: Autorización para ingreso al área de estudio 76
Anexo 4: Registro fotográfico 77

Índice de tablas

Tabla 1. Características de satélite Landsat 5 10
Tabla 2. Características de satélite Landsat 7 11
Tabla 3. Características espectrales de bandas del satélite Sentinel 12
Tabla 4. Valores del NDVI 21
Tabla 5. Identificador de las imágenes Landsat 26
Tabla 6. Identificador de las imágenes Sentinel 27
Tabla 7. Catálogo de imágenes Landsat descargadas para el estudio 29
Tabla 8. Catálogo de imágenes Sentinel descargadas para el estudio 29
Tabla 9. Descripción de la fórmula de conversión de ND a radiancia 31
Tabla 10. Características de la fórmula de la reflectancia TOA 32
Tabla 11. Valores de irradiancia media solar exoatmosférica ESUNλ Landsat 33
Tabla 12. Características de la conversión de grados a radianes 33
Tabla 13. Descripción de la fórmula del efecto bruma 34
Tabla 14. Descripción de la fórmula de reflectancia de superficie 35
Tabla 15. Criterios de clasificación 36
Tabla 16. Descripción de la fórmula de número de muestras 40
Tabla 17. Matriz de confusión 43
Tabla 18. Valores del índice de kappa 44
Tabla 19. Área (ha) de las clasificaciones de los años 2007, 2013 y 2019 51
Tabla 20. Cálculo de la tasa anual de deforestación (TAD) 52
Tabla 21. Cálculo de la matriz de confusión 53

Índice de figuras

Figura 1. Deforestación (ha) periodo 2001 - 2020 por departamento 8
Figura 2. El espectro electromagnético 13
Figura 3. Comportamiento de la radiación electromagnética 13
Figura 4. Resolución temporal 16
Figura 5. Efecto de dispersión en la atmósfera causado por gases o aerosoles 17
Figura 6. Signaturas espectrales típicas de distintas cubiertas 19
Figura 7. Reflectancia espectral de una hoja viva 20
Figura 8. Contraste espectral de la vegetación sana 20
Figura 9. Catálogo de imágenes Landsat utilizado en el mapeo de cobertura vegetal 28
Figura 10. Catálogo de imágenes Sentinel utilizado en el mapeo de cobertura vegetal ... 29
Figura 11. Composición de color natural de las bandas de Landsat 5 TM 30
Figura 12. Clasificación de la imagen Sentinel 2A 37
Figura 13. Herramienta para convertir de ráster a polígono 37
Figura 14. Ráster convertido a polígono 38
Figura 15. Proyección del datum y zona del mapa de clasificación 38
Figura 16. Elaboración del buffer en el área de estudio 39
Figura 17. Diseño de los cuadrantes para la verificación de la clasificación 41
Figura 18. Elaboración del densiómetro 41
Figura 19. Cálculo de la altura de los árboles 42
Figura 20. Superficie de clasificación del año 2007 45
Figura 21. Resultados en porcentaje de las áreas clasificadas del año 2007 46
Figura 22. Superficie de clasificación del año 2013 46
Figura 23. Resultados en porcentaje de las áreas clasificadas del año 2013 47
Figura 24. Superficie de clasificación del año 2019 48
Figura 25. Porcentajes del mapa de clasificación del año 2019 48
Figura 26. Comparación entre los porcentajes de bosque y no bosque de los años 2013 – 2019 49
Figura 27. Comparación entre los porcentajes de área urbana e hidrografía de los años 2013 – 2019 50
Figura 28. Superficie de clasificación durante el periodo 2007 – 2019 51

Resumen

La investigación se desarrolló en la subcuenca Gera que tiene una extensión de 21 780,04 ha, ubicado en el distrito de Jepelacio, provincia Moyobamba. Se contempló como objetivo principal "Evaluar la pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales durante el periodo 2007 – 2019 en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio". La metodología en la investigación consideró el uso de las imágenes satelitales gratuitas Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Sentinel 2A, los procesos de tratamiento y obtención de áreas se realizó con el software de ArcGIS. Como resultado se obtuvo que la superficie deforestada aumentó en 1 811,19 ha durante el periodo 2007 – 2013, a comparación de la cobertura boscosa que disminuyó 1 852,62 ha, durante el periodo 2013 – 2019 se obtuvo que la superficie deforestada aumentó 3 255,51 ha, a comparación de la cobertura boscosa que disminuyó 3 272,9 ha, independientemente de los otros 2 campos de clasificación considerados. La tasa anual de deforestación durante el periodo 2007 – 2013 fue de 308,77 ha/año y durante el periodo 2013 – 2019 fue de 545,48 ha/año, pudiendo afirmar que en este último periodo la tasa de deforestación anual fue mayor. Además de acuerdo al protocolo propuesto por el MINAM, se obtuvo que el índice de kappa del mapa de deforestación del año 2019 fue de 0,80%, considerándose una fuerza de concordancia aceptable, este resultado sirvió para comparar el trabajo obtenido en gabinete y lo encontrado en el área de estudio visitado.

Palabras clave: Clasificación de la imagen satelital, imágenes satelitales, índice de kappa, tasa de deforestación anual.

Abstract

The research was carried out in the Gera sub-basin, which has an area of 21,780.04 ha, located in the district of Jepelacio, Moyobamba province. The main objective was to "Evaluate the loss of vegetation cover using satellite images during the period 2007 - 2019 in the Gera sub-basin, Jepelacio district". The research methodology considered the use of free satellite images Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM and Sentinel 2A; treatment processes and obtaining of areas were carried out with ArcGIS software. As a result, it was obtained that the deforested area increased by 1,811.19 ha during the period 2007 - 2013, compared to the forest cover that decreased by 1,852.62 ha, during the period 2013 - 2019. The deforested area increased by 3 255.51 ha, compared to the forest cover, which decreased by 3 272.9 ha, regardless of the other 2 classification fields considered. The annual deforestation rate was 308.77 ha/year during the period 2007 - 2013 and 545.48 ha/year during the period 2013 - 2019, being able to affirm that deforestation rate was higher in the latter period. In addition, according to the protocol proposed by MINAM, the kappa index of the deforestation map for the year 2019 was 0.80%, which is considered an acceptable concordance strength. This result was used to compare the work obtained in the laboratory with the findings in the visited study area.

Key words: satellite image classification, satellite images, kappa index, annual deforestation rate.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
COORDINACIÓN
CENTRO DE IDIOMAS

Introducción

La cobertura vegetal tiene un papel importante en los ecosistemas terrestres (Feng et al., 2021), proporcionando muchos servicios ecosistémicos que hace que las ciudades sean mucho más habitables para el ser humano (Richards & Belcher, 2020). Sin embargo, el incremento de las áreas urbanas contribuye de manera significativa en la pérdida de cobertura vegetal, acelerando de esta manera las emisiones de carbono, incrementando la temperatura superficial de la tierra y ocasionando el calentamiento global (Kafy et al., 2022; Waseem & Khayyam, 2019), asimismo, otras actividades que ocasionan la pérdida de cobertura vegetal son las prácticas agrícolas, programas de reasentamiento, incendios y la minería (Dzawanda & Ncube, 2020)

El cambio climático generado por la pérdida de cobertura vegetal ocasiona diversos impactos, como lo menciona (Hou et al., 2022) que altera el ciclo del agua y materiales en las cuencas, encontrándose relacionado de manera estrecha con las variaciones dinámicas de la cobertura vegetal en las superficies subyacentes. Asimismo, una vegetación pobre hace que las temperaturas se incrementen a diferencia de una cobertura vegetal sana que irradia bajas temperaturas (Kafy et al., 2022; Marajh & He, 2022).

Estudios a nivel mundial muestran la realidad de la problemática, como lo determinado por Kafy et al., (2022) en Cumilla ubicado en Bangladesh que durante 25 años la cobertura vegetal se disminuyó en 9% incrementando la temperatura promedio en 11 ºC o como lo determinado por Mishra et al., (2021) en el distrito de Darbhanga de Bihar en la India que en 1999 la cobertura vegetal representaba el 19,12% disminuyendo al 2019 hasta 11,73%.

El Perú cuenta con 73 millones de has de bosques caracterizados por una diversidad amplia, dentro de los cuales los bosques amazónicos son los más representativos que comprenden la mayor área con 94% de la superficie forestal, el 5% lo abarcan los bosques secos y el 0,5% los bosques andinos (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), 2015). Sin embargo, la tasa de deforestación año tras año sigue aumentando y siendo más elevados en el país, registrándose en los años de 2001 al 2018 un total de 2 284 889 has deforestados de bosques húmedos amazónicos (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2019). En el 2019, la deforestación de bosques en nuestro país fue de 147 000

has que fueron las superficies que no cuentan con supervisión, existiendo 14 millones de has de vegetación que se encuentran sin derechos de propiedad (MINAM, 2020a).
En el Perú, se considera como impulsor principal de la deforestación a la actividad antropogénica, como agricultura, infraestructura vial, mercados, etc., (Watz & Eriksson, 2019), asimismo, diferentes estudios muestran la seriedad del problema como lo menciona Tafur et al., (2022) que en la selva amazónica durante el 2001 al 2018 el valor de daño ambiental económicamente asciende a 4 960 461 861 USD debido a la perdida de carbono en los bosques amazónicos. Por otro lado, determino que en Madre de Dios la minería ilegal de oro ocasionó durante el 2001 al 2017 un pérdida del 17% de cobertura vegetal (Adamek et al., 2021).

La región San Martín con una superficie de 51 288,07 de Km2, cuenta con un área de deforestación acumulada durante el 2001 al 2018 de 436 512 has, donde las amenazas principales son las actividades informales e ilegalesm, cambios de uso de suelos, como también la expansión no planificada, baja productividad, pobreza y migración (MINAM, 2020b).

La provincia de Moyobamba, con respecto a la cubierta vegetal existe una gran fracción de sus áreas que diariamente vienen siendo deforestadas sin algún criterio o manejo técnico, en esta realidad se encuentra gran parte de la subcuenca del Gera del distrito de Jepelacio, que tiene un área de 21 780,04 has y de acuerdo a la Zonificación Ecológica Económica, gran parte está conformada por la Zona de Conservación y Recuperación de Ecosistemas (ZOCRE) “Gera – Sisa – Organero”; el cual presenta riesgos por causas múltiples, encontrándose entre las principales la presencia de malas prácticas agrícolas y migrantes andino, todo lo cual ocasiona la pérdida de bosques, disminución de la fauna silvestre y del caudal, así como la degradación de los suelos por erosión, etc.

Ante este problema surge la necesidad de generar información relevante que favorezca en la toma de decisiones a favor del control de la disminución de la vegetación usando imágenes satelitales, es por ello que se resumió la problemática mediante la siguiente interrogante ¿Cuál es la pérdida de cubierta vegetal monitoreada mediante el uso de imágenes satelitales durante el periodo 2007- 2019 en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio?

En este contexto el objetivo principal de la investigación fue ”Evaluar la pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales durante el periodo 2007 – 2019 en la subcuenca Gera, distrito de Jepalacio”; cuyos objetivos específicos se enfocaron en, 1ro: Determinar la superficie deforestada entre los años, 2007, 2013, 2019, mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera; 2do: Estimar la tasa de deforestación en los periodos, 2007 - 2013, 2013 - 2019 mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera y; 3ro: Determinar la exactitud temática del mapa de deforestación al 2019, en la subcuenca Gera. En la investigación se consideró una sola variable de estudio que son las imágenes satelitales; asimismo, el método empleado fue el tratamiento de las imágenes de los años estudiados haciendo uso del software Arcgis cuyos resultados fueron evaluados mediante la matriz de confusión.

El presente informe de investigación consta de tres capítulos, cada uno de ellos contiene lo siguiente:

Capítulo I: Antecedentes de la investigación, las bases teóricas y definición de términos básicos.
Capítulo II: Descripción de materiales y métodos empleados en la ejecución de la investigación.
Capítulo III: Resultados obtenidos en el desarrollo de la ejecución, interpretación y análisis de los resultados, contrastación de la hipótesis mediante pruebas estadísticas y la discusión de los resultados.

En la presente investigación se a llegó la conclusión de que el uso del software determina de manera precisa el monitoreo de la pérdida de masa forestal, cuyos resultados generados por el software ArcGIS se validaron con la toma de datos en campo.

Por último, se dan a conocer las conclusiones del estudio, las respectivas recomendaciones, las referencias bibliográficas y finalmente los anexos.

CAPÍTULO I
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Antecedentes internacionales

Mendoza y Carrero (2020). En la finca Esperanza del municipio de Carcasí en Santander tuvieron como objetivo determinar la disminución de la cobertura boscosa haciendo uso de imágenes satelitales Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1, para lo cual realizó un análisis multitemporal mediante procesos de interpretación y empleando la clasificación no supervisada con el programa ArcGIS. Como resultados encontraron que las coberturas con mayor pérdida de superficie fueron las especies arbustivas y el bosque, a raíz de la presión ejercida por los pobladores en los suelos con fines ganaderos y agrícolas, asimismo, mencionan que la variación de cobertura evidenciado en el periodo de 2013 – 2020 fue aproximadamente 17% de disminución de la cobertura de arbustales y bosques, superficies que fueron convertidas para fines ganaderos y agrícolas.

Condori et al., (2018). En la subcuenca del río Coroico ubicado en el Municipio de Caranavi, determinaron la disminución de la cubierta vegetal del suelo durante los años de 1989 a 2005 y 2055 a 2014. Para la generación de mapas temáticos de deforestación y la cuantificación de lo obtenido usaron el método de teledetección espacial y sistemas de información geográfica a través de programas como ERDAS y ArcGIS. Como resultados determinaron una minimización gradual de superficies boscosas, cuya mayor pérdida fue entre los años 1989-2005 a comparación los años 2005-2014, asimismo, el área deforestada desde 602,05 ha se incrementó en 3 veces más hasta 1705,05 ha, la tasa de deforestación determinada fue en el periodo 1989 a 2005 de 59,38 ha al año a comparación del periodo 2005 a 2014 donde la tasa determinada fue de 16,99 ha; por otro lado, estimaron que en los próximos años debido a la deforestación las superficies boscosas seguirán disminuyendo.

Rawat et al., (2015). Mencionan que una forma de comprender el dinamismo en el paisaje son los métodos de detección de variaciones de uso de suelo, cobertura y deforestación empleando imágenes satelitales multitemporales. Estudiaron la dinámica espaciotemporal de la cobertura y uso del suelo del bloque Hawalbagh del distrito Almora, Uttarakhand (India), en base a imágenes satelitales Landsat cuantificaron los cambios durante el periodo 1990-2010, dichas imágenes se clasificaron, utilizando el clasificador de máxima verosimilitud, en cinco clases diferentes: vegetación, agricultura, estéril, urbanizado y cuerpo de agua. Los resultados encontrados por los autores indican que, durante las últimas dos décadas, la vegetación y la tierra edificada se han incrementado en un 3,51% (9,39 km^2) y 3,55% (9,48 km^2) mientras que la agricultura, tierra estéril y cuerpo de agua han disminuido en 1,52% (4,06 km^2), 5,46% (14,59 km^2) y 0,08% (0,22 km^2), respectivamente.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Rojas et al., (2019). Estudiaron la deforestación en la Amazonía peruana, de acuerdo a los índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG, llegaron a los resultados y conclusiones mediante los métodos de clasificación supervisada de máxima probabilidad e interpretación visual interdependiente de imágenes del satélite Landsat, entre los períodos 1987–2001 y 2001–2016. Construyeron matrices de tabulación cruzada y calcularon tasas e índices anuales de cambio. Los resultados muestran una pérdida acumulada de 918,59 km2 de cobertura boscosa, así también la intensidad de CCUS y la tasa de deforestación fueron mayores en el segundo período de análisis. Además, evidenciaron que las altas concentraciones de pérdida de cobertura boscosa están próximas a la red vial e hídrica y hacen mención que las principales causas de la pérdida de bosques fueron la actividad ganadera y la expansión agrícola migratoria a pequeña explotación, favorecidas por la accesibilidad de infraestructuras de transporte.

Mamani et al., (2017). En su trabajo de investigación evaluó los factores de deforestación para un mejor manejo de los recursos naturales, en tal sentido contempló como objetivo, evaluar los cambios de uso de suelos y la pérdida de cubierta vegetal con el análisis multitemporal en el periodo de 1986-2015

dividido en 4 periodos, a fin de conocer la tasa de deforestación en el área de estudio para proponer actividades de manejo de los recursos naturales en el distrito de Molinopampa. La automatización de la información gráfica y no gráfica, así como la formación de la base de datos lo realizaron mediante los softwares SIG, como son ERDAS versión 2014 y ArcGIS versión 10.3. Para el análisis multitemporal utilizaron imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, así como material cartográfico del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Obtuvieron una tasa de deforestación de 110,82 ha/año en el periodo inicial que comprende desde el año 1986 a 1992, la cual representa la más elevada, que se relaciona directamente con el aumento de la producción ganadera, por la necesidad de aumentar las áreas de pastoreo, así como el aumento del tejido urbano.

Alegre, (2017). En su trabajo de investigación realizó el análisis multitemporal de los años 1997 - 2017 a través de datos satelitales, y así obtener resultados de la productividad vegetal, determinó una pérdida de cobertura vegetal de 39492.3 ha, (10,5% superficie total), esta vegetación se considera irrecuperable, además determinó que los parámetros metereológicos influyeron negativamente en el desarrollo vegetal, debido a que la temperatura presentó ascendencias y descendencias paulatinamente año tras año, donde las temperaturas máximas aumentaron en 4.9 °C y las mínimas descendieron en 2,6°C, y la precipitación también presentó niveles irregulares.

Burga, (2016). En su estudio sobre incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la provincia del Alto Amazonas, tuvo como área aproximada de estudio 1 958 133.5 ha, hizo uso de imágenes satelitales, también utilizó la base de datos del Ministerio del Ambiente. En el periodo de estudio (2000 – 2014) se deforestaron un total de 79 723.01 ha (4.07% de la superficie total). El distrito de Yurimaguas registró la mayor superficie deforestada con 41 610.2 ha (38.58% del total 145 617.3 ha); mientras que la menor superficie muestra el distrito de Lagunas con 4 154.6 ha (0.69% del total de superficie 603 391.4 ha). El mayor incremento de la deforestación se presenta en el año 2010-2011 con 62 811.70 ha/año.

1.1.3. Antecedentes locales

Carranza y Tasilla (2020). Realizaron un análisis sobre la pérdida de cobertura vegetal del distrito de Morales (San Martín – Perú) en el periodo 1987 – 2017. El método empleado consistió en el análisis multitemporal de imágenes satelitales, mediante la técnica de clasificación supervisada con el Software ArcGIS. Los periodos estudiados fueron 1987-1997, 1997- 2007 y 2007-2017. Observaron cambios en la cobertura vegetal, en el periodo de 1987-1997 donde se perdieron 948,42 ha, en el periodo 1997-2007 la reducción fue de 81,83 ha y en el periodo 2007-2017 la pérdida fue de 59,26 ha. Ante esto concluyeron que la cobertura vegetal del distrito de Morales está experimentando pérdidas, siendo el principal factor el crecimiento demográfico.

Rodríguez, (2018). Mediante técnicas de teledetección y SIG, determinó la deforestación entre los años 1986 y 2016 en el distrito de Sauce-San Martín, encontrando que perdió el 25,66% de su cubierta de bosques en 30 años (1986 – 2016). Durante el primer período (1986 – 1995), determinó una pérdida del 20,71% de la superficie boscosa y una tasa de deforestación anual de 1,11%. En el período de 1995 – 2005, observó una pérdida de 26,93% de la superficie de bosque, donde se registró las mayores tasas anuales de deforestación (1,22%); dicho resultado lo relaciona al aumento de la población de ganado vacuno y las de las unidades agropecuarias, asimismo con el patrón de incremento poblacional para el distrito de Sauce que alcanzó un crecimiento promedio anual de 6.2% entre 1993 y 2007, el mayor de la provincia de San Martín. En el último período (2005 – 2016) la pérdida de cubierta de bosque se incrementó al 29,36% y presentó una tasa anual de deforestación de 0,98%.

García, (2008). El investigador mediante el procesamiento digital de las imágenes de satélite, evaluó la pérdida de superficie boscosa en el ANP bosque de protección de Alto Mayo (BPAM) y su zona de amortiguamiento (ZA), encontrando una pérdida de cobertura vegetal para el ANP de -7763 ha, y para la ZA de -3980 ha, para el período comprendido entre 1990 y 2000. Indica además que la creación del ANP ha servido para atenuar los procesos de deforestación en la zona.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Pérdida de la cobertura vegetal

En el Perú existen diferentes factores que generan la pérdida de cobertura de boscosa como, por ejemplo: tala ilegal, cultivo ilegal de coca, agricultura migratoria, plantaciones industriales, entre otros, a estos factores se suman las causas indirecta entre los cuales se encuentran la densidad de la población, pobreza, inadecuadas decisiones políticas, ineficientes políticas económicas, ilegalidad y corrupción en el ente forestal y en particular la inexistencia de una eficiente y activa educación ambiental (Dancé *et al*., 2013).

1.2.2. Deforestación en el Perú

Las superficies de pérdida de boque monitoreado anualmente desde el año 2001, hasta el 2020 fue de 2 636 584,64 ha, las regiones mas perjudicadas son: San Martín, Loreto, Ucayali, Huánuco y Madre de Dios, en grupo ascienden al 77,1% de la deforestación total durante los últimos 20 años (MINAM, 2021).

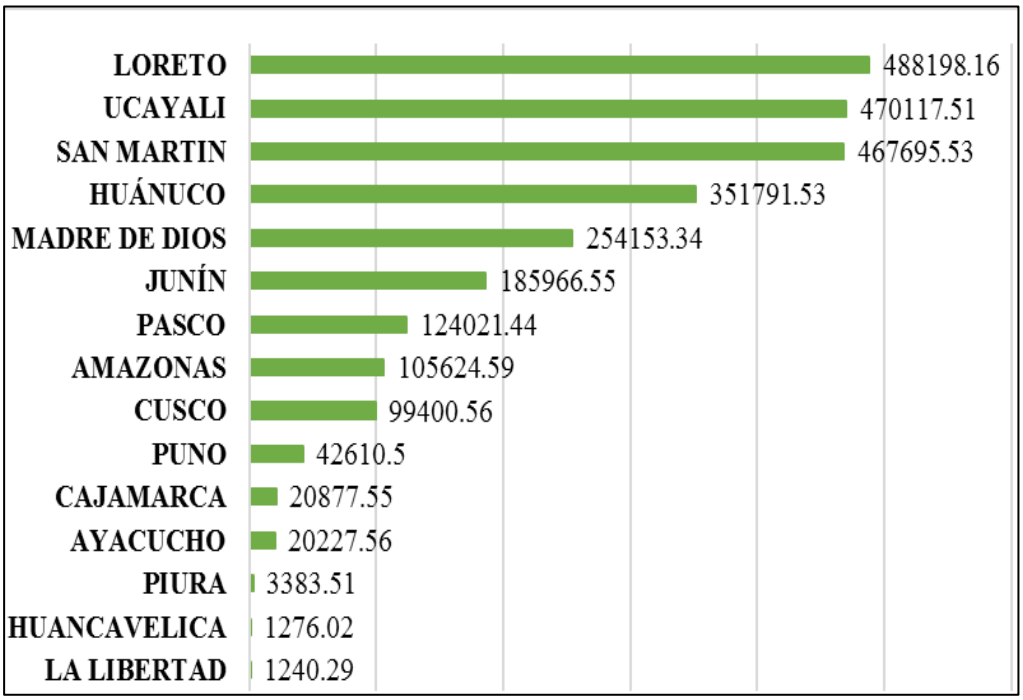


Figura 1. Deforestación (ha) periodo 2001 - 2020 por departamento

Fuente: MIMAM, (2021).

1.2.3. Deforestación en la región San Martín

El departamenteo de San Martín cuenta con una superficie total de 51 288,07 de Km^2 y con una población de 51 288,07 personas, asimismo tiene un área deforestado acumulado de 467 695,53 ha de bosques de tipo húmedo amazónico durante el periodo de 2001 al 2020, cuyas amenazas principales de deforestación son las actividades extractivas informales e ilegales, cambio de uso de suelos, migración, expansión no planificada, baja productividad y pobreza (MINAM, 2021).

1.2.4. Teledetección:

Esta puede ser definida como un proceso que permite adquirir información acerca de un objeto o un área, sin tener ningún contacto. Mide la cantidad de reflectancia de algún objeto de la superficie terrestre causada por una fuente de energía (como el sol o foco de luz, es decir de una fuente independiente).

Nuestros ojos son un excelente ejemplo de un dispositivo de teledetección, somos capaces de obtener información acerca de nuestro alrededor midiendo la reflectancia de la porción visible del espectro electromagnético. Dada esta definición general está asociada a la interacción entre una fuente independiente de energía con objetos de la superficie terrestre (García, 2006).

1.2.5. Misión espacial Landsat para la observación de la tierra

El software Landsat cambió la forma de desarrollar estudios en la tierra. En 1972 inició este programa siendo el más extenso de la historia y que aún viene registrando variaciones de la superficie de la tierra desde diferentes partes del espacio. El Landsat 8 es el último satélite enviado hacia el espacio, planificándose también el envío de una mayor cantidad de satélites Landsat.

Solo hay un sistema satelital diseñado y operado que es Landsat, con el cual es posible evidenciar de manera repetida la cobertura terrestre con una resolución de magnitud moderado. El uso de las imágenes satelitales permite realizar estudios con la finalidad de poder tomar decisiones a favor del cuidado y recuperación de nuestros recursos naturales (IGAC, 2013).

1.2.5.1. Landsat 5

Este satélite es un tipo muy avanzado de barrido multiespectral que funciona en siete bandas espectrales al mismo tiempo, de los cuales tres pertenecen a la zona visible, al infrarrojo cercano solo una, al infrarrojo medio dos y, por último, en el infrarrojo termal solo una. En las bandas de infrarrojo medio y del visible es de 30 m la resolución espacial y 120 m en la banda del infrarrojo termal. Asimismo, el sensor registra una escena terrestre de 185 km^2 (Bravo, 2017).

Tabla 1

Características de satélite Landsat 5

Satélite / Sensor	Bandas espectrales	Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 5 Thematic Mapper (TM)	B1 - Azul	0,45-0,52	30
	B2 - Verde	0,52-0,60	30
	B3 - Rojo	0,63-0,69	30
	B4 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0,76-0,90	30
	B5 - Infrarrojo Cercano (SWIR)	1,55-1,75	30
	B6 - Infrarrojo Térmico	10,40-12,50	120
	B7 - Infrarrojo Cercano (SWIR)	2,08-2,35	30

Fuente: Nasa, (2013).

1.2.5.2. Landsat 7

El número de bandas con los que cuenta este tipo de satélite es de 8, asimismo, de las bandas 1 a 5 y 7 las imágenes presentan resolución espacial de 30 m. La banda 8 (pancromática) presenta una resolución de 15 m, siendo posible con este tipo de banda mejorar ampliamente la resolución espacial que a la vez tiene aproximadamente 183 km de escena de este a oeste y de norte a sur 170 aproximadamente (Bravo, 2017).

Tabla 2

Características de satélite Landsat 7

Satélite / Sensor	Bandas espectrales	Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)
Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	B1 - Azul	0,45–0,52	30
	B2 - Verde	0,52–0,60	30
	B3 - Rojo	0,63–0,69	30
	B4 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0,77–0,90	30
	B5 - Infrarrojo Cercano (SWIR)	1,57–1,75	30
	B6 - Infrarrojo Térmico	10,40-2,50	60 * (30)
	B7 - Infrarrojo Cercano (SWIR)	2,09–2,35	30
	B8 - Pancromática	0,52–0,90	15

Fuente: Bravo, (2017).

1.2.6. Misión espacial de observación de la tierra sentinel

El programa fue desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA), en el marco de Copernicus Land Monitoring Services. Es una misión de imágenes multiespectrales de una alta resolución espectral (10 metros) en órbita polar para la observación de la tierra. Sentinel 2A (23 de junio del 2015) y Sentinel 2B (7 de marzo del 2017), son los satélites que permiten obtener información de la superficie terrestre, monitoreando los cambios climáticos y en la vegetación.

Las imágenes se encuentran en servidores gratuitos y su uso permite múltiples aplicaciones (Bravo, 2017).

Tabla 3

Características espectrales de bandas del satélite Sentinel 2

Satélite / Sensor	Bandas espectrales	Longitud de onda (µm)	Resolución espacial (m)
Sentinel 2	B1 - Costero aerosol	0,443	60
	B2 - Azul	0,490	10
	B3 - Verde	0,560	10
	B4 - Rojo	0,665	10
	B5 – Vegetación Red Edge	0,705	20
	B6- Vegetación Red Edge	0,740	20
	B7 – Vegetación Red Edge	0,783	20
	B8 – Infrarrojo Cercano	0,842	10
	B8A – Vegetation Red Edge	0,865	20
	B9 – Water vapour	0,945	60
	B10 – SWIR – Cirrus	1,375	60
	B11 – SWIR	1,610	20
	B12 - SWIR	2,190	20

Fuente: Bravo, (2017).

1.2.7. Fundamentos de la teledetección

1.2.7.1. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es una energía que se extienda mediante ondas, cuyas longitudes son diversas, desde longitudes menor de 100 Amstrongs para los rayos gamma y X hasta longitudes mayores a 1 metro de las ondas de radio y televisión. Espectro electromagnético es denominado al grupo del total de longitudes de onda, donde en función a las longitudes de onda se diferencian un conjunto de regiones. El espectro visible que va de 0,4 µm a 0,7 µm se representa por las regiones capturadas por la vista humana (García, 2006).

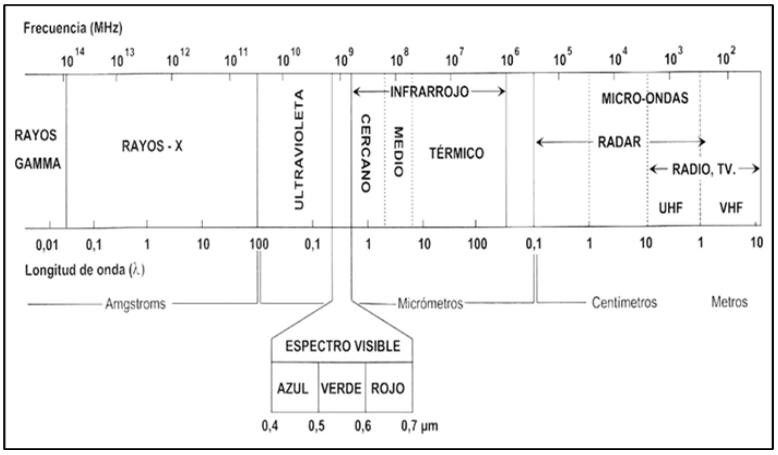


Figura 2. El espectro electromagnético

Fuente: Chuvieco, (1995).

1.2.7.2. Radiación electromagnética

La radiación electromagnética procede del sol al arribar a un objeto que se encuentra en la superficie de la tierra, como por ejemplo en la hoja puede verse reflejado, absorbido o transmitido. La porción de energía reflejada es conocida como albedo o reflectividad (ρ); por otro lado, se conoce como absortividad (α) a la porción de energía absorbida; la porción de energía transmitida es llamada transmisividad (T), cuya suma de los tres debe resultar igual a la unidad y valores de ρ, α.T, lo cual depende de las propiedades del cuerpo, el mismo que presenta un funcionamiento diferente, y emite radiaciones distintas (García, 2006).

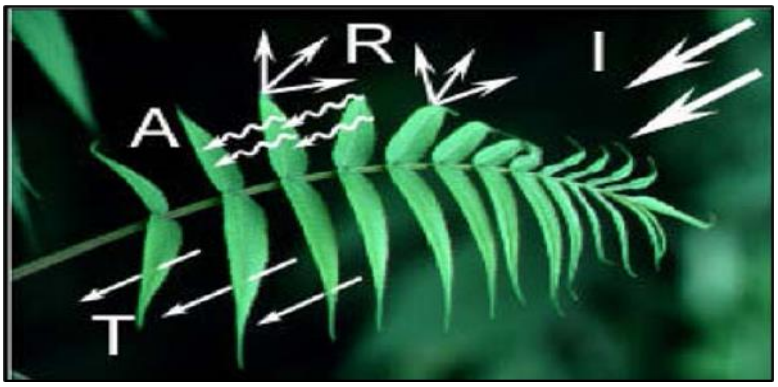


Figura 3. Comportamiento de la radiación electromagnética

Fuente: García, (2006).

1.2.8. Sensores remotos

Los sensores remotos son dispositivos elaborados para la recepción de datos del exterior, para luego convertirlas en otra dimensión que habitualmente es eléctrica, pudiéndose manipular y cuantificar (Peguero, 2016).

1.2.8.1. Clasificación de los sensores en función de la fuente emisora de energía

Fundamentalmente la clasificación se sustenta en determinar si el origen de emisión de energía es de forma natural como el sol o si tal vez forma parte del propio sistema del sensor.

A) Sensor pasivo

El sensor pasivo registra y/o guarda la energía que es emitida o reflejada por la superficie terrestre, cuyo origen de la energía es de forma natural como el sol. Se encuentran los sensores electro – ópticos de barrido mecánico (MSS, TM) y eléctrico (HRV), sensores fotográficos (cámara fotográfica), sensores de microondas (radiómetro) (Peguero, 2016).

B) Sensor activo

El sensor activo cuenta con fuentes de energía, asimismo, este tipo de sensor tiene la capacidad de emitir energía electromagnética con rumbo hacia el objeto, para detectar y registrar la radiación emitida por el objeto como es el caso del lidar y el radar (Peguero, 2016).

1.2.8.2. Resolución de un sistema sensor

Resulta de suma importancia tener conocimiento de los tipos de resoluciones que hay, ya que ello permite analizarlas de una mejor manera. Los tipos de resoluciones del sensor existentes son:

A) Resolución espacial

Representa a la medida de la distancia lineal o angular más limitada que tiene la capacidad de capturar el sensor remoto. La resolución

espacial se encuentra representado por pixeles, que representa la mínima unidad que forma la imagen, asimismo, es expresado en metros/pixel o también en metros que es la distancia medida sobre la superficie terrestre de una parte del pixel que establece del sensor su resolución espacial (Labrador, 2012).

B) Resolución espectral

Establece el ancho o cantidad de bandas espectrales con el cual se alcanza distinguir al sensor del satélite. Es así que, mientras mayor sea la cantidad de bandas reconocidas mayor resolución espectral tendrá el satélite (Pérez, 2006).

C) Resolución radiométrica

La resolución radiométrica da a conocer acerca de la capacidad de los sensores para diferenciar intensidad o niveles de radiancia. El sensor recoge la energía electromagnética emitida por la superficie de la tierra, la cual se convierte a nivel digital, siendo necesario un modelo binario (número de bits) para codificar, resultando una mayor resolución radiométrica a una mayor cantidad de número bits. La resolución radiométrica de un sensor TM de Landsat es de 8 bits a través del cual puede registrar valores decimales entre 0 a 255, en otras palabras 256 (2^8). Existen sensores que ofrecen hasta 10 o 12 bits (Pérez, 2006).

D) Resolución temporal

Se conoce a la resolución temporal como la fase de intervalo o repetición de tiempo a partir del cual se obtiene imágenes de manera sucesiva de una fracción igual de superficie, esto se basa generalmente en las características orbitales de los satélites. Además, es conocida como época de revisita y se base en 3 principales factores que son: la latitud, el ancho del barrido y la habilidad de reorientación del sensor en los lados de la línea de paso del satélite (Labrador, 2012).

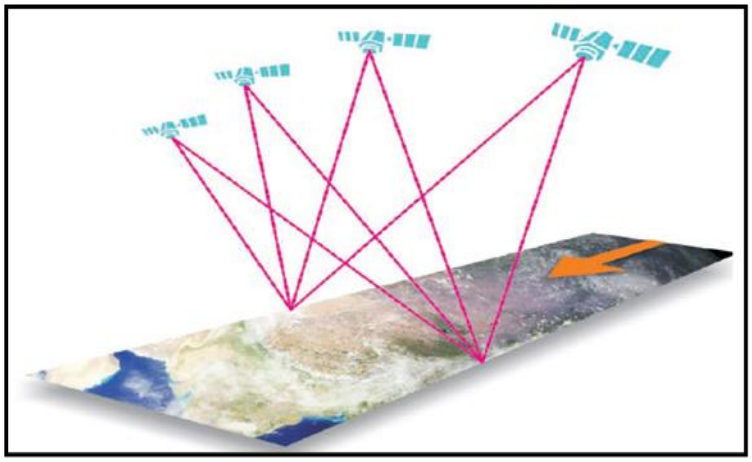


Figura 4. Resolución temporal

Fuente: Labrador, (2013).

1.2.9. Efectos atmosféricos

La atmósfera resulta ser un importante factor ya que toma en cuenta los flujos de radiación entre la tierra y el sol, encontrándose entre satélites, aerosoles y gases que forman parte de la atmósfera y generan efecto triple en la radiactividad.

A) Absorción

Los gases de la atmósfera pueden absorber radiactividad en diversas longitudes de onda, como por ejemplo el ozono puede absorber radiación ultravioleta, el dióxido de carbono puede absorber radiación en 13,0 – 17,5 µm, también el vapor de agua cuenta con la capacidad de absorber radiación en 5,5 – 7,0 µm y sobre 27 µm (García, 2006).

Por otro lado, en el infrarrojo térmico las nubes emiten su propia radiación que difiere de acuerdo a su baja temperatura con respecto a la terrestre, escondiendo la superficie en las regiones del espectro, en tanto, la absorción de radiación por las nubes dependerá del espesor, lo que hace que la radiación proveniente de estas será menor a lo que se emite de la tierra (García, 2006).

B) Dispersión

La dispersión se desarrolla cuando la radiación electromagnética es refractada o reflectada por aerosoles o gases atmosféricos como partículas

líquidas y sólidas. Es por ello que la radiancia directa menora y la radiancia difusa se incrementa (García, 2006).

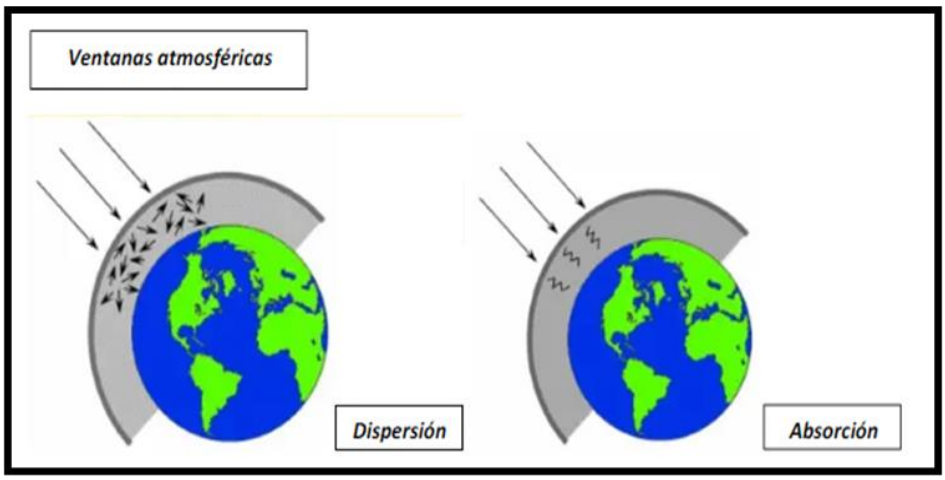


Figura 5. Efecto de dispersión en la atmósfera causado por gases o aerosoles
Fuente: Peguero, (2012).

1.2.10. Imágenes satelitales

La imagen satelital es producto de la energía del sol irradiada en distintas longitudes de onda que son captadas por los sensores pasivos en el barrido sobre la superficie terrestre. Que son reunidos de acuerdo a sus características (bandas espectrales) en cada uno de los equipos de obtención de datos y teniendo así datos en "matrices digitales de pixeles" que agrupados forman una imagen o también llamados como "ráster". En consecuencia, toda esta metamorfosis tiene un lenguaje de procesamiento nombrado "ND (Nivel digital)" (NASA, 2004).

1.2.11. Tratamiento de imágenes satelitales

Los errores en las imágenes habitualmente se deben a distorsiones que son generadas por la rotación terrestre, por la plataforma, atmósfera o por los sensores. Algunos de estos errores pueden arreglarse en centros que se encargan de recibir o vender imágenes, pudiendo otros persistir, para lo cual es necesario hacer uso de una serie de técnicas de ajuste (González, 2012).

A) Corrección radiométrica

Al generarse y propagarse la radiación electromagnética, se mantiene en interacción con el medio atmosférico lo que afecta a la distribución

espectral, longitud de onda, intensidad y/o dirección de la radiación. En la atmósfera se generan 2 tipos de efectos que son la dispersión y la absorción. La necesidad en que el ruido que se introduce por la atmósfera deba ser removido, se sustenta en que este genera efectos en los resultados (Pérez, 2006).

La corrección radiométrica busca encontrar una pertinente precisión de las medidas de reflectancia, cuyo fin es remover los ruidos en los niveles digitales (ND). Tienen como objetivo remover ruidos en los ND compensando en los valores de radiancia las diferencias encontradas y luego convertir a estos valores los ND, empleando formatos de atmósfera, además de las geométricas de observación e iluminación (Pérez, 2006).

B) Corrección geométrica

La corrección geométrica se desarrolla al modificar la forma geométrica de la imagen en referencia al de la superficie de la tierra, que debido a la curvatura y rotación de la tierra las distorsiones se generan en el proceso de obtención de las imágenes. La adaptación a un sistema de referencia geodésico como ETRF89 o ED50 y la proyección de la geográfica (Universal Tranverse Mercator) se denomina georreferenciación (Gorgaza, 2014).

C) Corrección atmosférica

La corrección atmosférica es un procedimiento aplicado a las imágenes digitales, cuyo objetivo es remover el efecto de la radiancia intrínseca y aerosoles que ingresan al sensor viéndose reflejados en la imagen, a consecuencia del proceso de interacción que mantiene el sensor con la atmósfera. La corrección atmosférica permite mejorar significativamente la calidad visual de las imágenes y también permite remover el componente intruso proveniente del medio atmosférico (Heileen et al, 2014).

1.2.12. Firma espectral

Las firmas espectrales son muy importantes para reconocer cubiertas de interés o parámetros dentro de esas cubiertas (clorofila en la vegetación, o turbidez en

el agua), las firmas espectrales son la relación entre la longitud de onda y la reflexión. Por ejemplo, la nieve presenta una reflectividad alta y constante en las bandas del visible (de ahí su color blanco), por el contrario, el agua absorbe mayor parte de la energía que recibe, la vegetación tiene valores bajos en el espectro visible (Chuvieco, 1995).

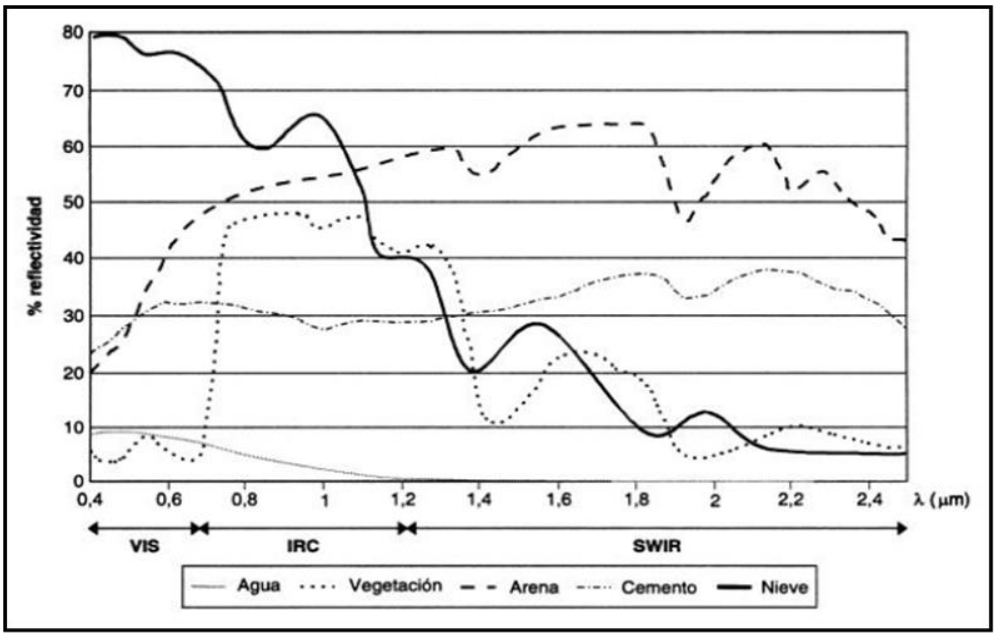


Figura 6. Signaturas espectrales típicas de distintas cubiertas

Fuente: Chuvieco, (1995).

1.2.13. Análisis de la vegetación en el espectro electromagnético

La clorofila absorbe energía en las bandas centradas en 0.45 y 0.67, es por ellos que percibimos la vegetación sana de color verde, debido a la gran absorción en azul y rojo por las hojas y la reflexión en el verde.

Cuando la vegetación no es sana debido a la disminución de la clorofila el resultado es el incremento de la reflectancia espectral en el rojo, por lo que notamos un color amarillento en las hojas (mezcla de verde y rojo), muy poca energía es absorbida en la región infrarrojo, permite la separación de las superficies con vegetación y las sin vegetación que son oscuras en el infrarrojo, además las diferencias de reflectancia son más pronunciadas en el infrarrojo cercano (Bravo, 2017).

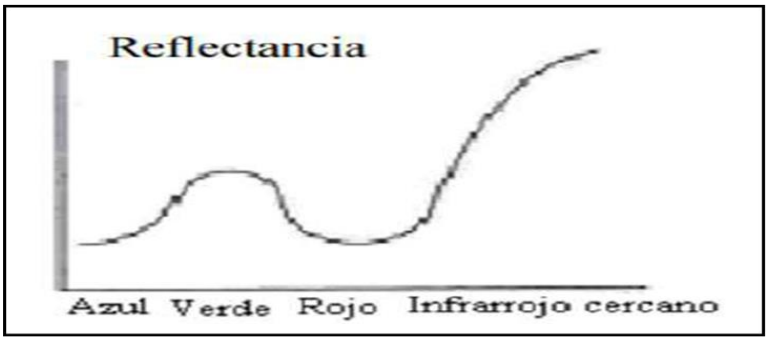


Figura 7. Reflectancia espectral de una hoja viva

Fuente: Bravo, (2017).

La signatura espectral característica de la vegetación sana muestra un claro comportamiento entre la banda roja (0.6 y 0.7 µm) y el infrarrojo cercano (0.7 y 1.1 µm). Un claro contraste entre la región roja y la del infrarrojo cercano permite determinar si la cubierta vegetal es sana, cuando la planta tiene algún tipo de estrés, la reflectividad es menos en el NIR, aumentando paralelamente en el rojo (al tener menor absorción de la clorofila), con lo que el contraste en ambas capas será menor (Chuvieco, 2008).

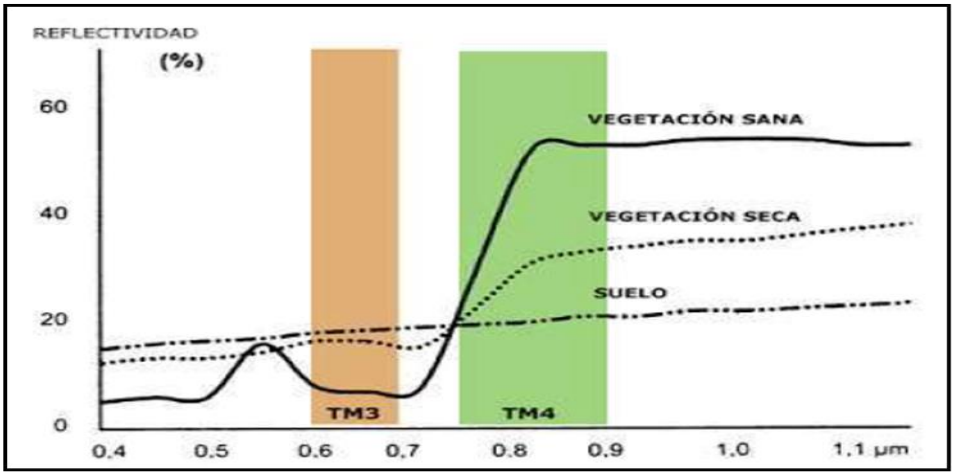


Figura 8. Contraste espectral de la vegetación sana

Fuente: Bravo, (2017).

1.2.14. Tipos de índices

A) Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

El NDVI es un índice empleado para evaluar diferencias normalizadas entre el infrarrojo cercano y la reflectancia del rojo, suministrando medidas acerca de la cantidad y calidad de ejecución de la cobertura vegetal, así

como la vigorosidad en extensas superficies. El NDVI presenta valores entre 0 a 1, siendo las áreas sin vegetación característicos de valores negativos.

Rouse (1997) menciona que la ecuación utilizada para su obtención es:

$$NDVI = \frac{(\mathrm{NIR} - \mathrm{RED})}{(\mathrm{NIR} + \mathrm{RED})}$$

Tabla 4

Valores del NDVI

Valor NDVI	Descripción
< 0	El material inanimado/ muerto, por ejemplo: carreteras, edificios, el suelo, etcétera.
0 > 0,33	Material vegetativo no saludable
0,33 > 0,66	Material vegetativo sano
> 0,66	Material vegetal muy saludable

Fuente: (Rouse, 1997).

B) Índice de vegetación mejorada

Se optimizó a partir del NDVI, aumentando la sensibilidad en las regiones de alta biomasa y permite el monitoreo de la vegetación mediante la disociación de la señal del fondo del dosel y una reducción de la influencia atmosférica. La ecuación utilizada para su obtención es: (Bravo, 2017).

$$EVI = \mathrm{G} * \frac{(NIR - RED)}{(\mathrm{NIR} + \mathrm{C1} * \mathrm{RED} - \mathrm{C2} * \mathrm{BLUE} + \mathrm{L})}$$

Donde:

NIR: Reflectancia de la banda infrarrojo cercano- NIR

RED: Reflectancia de la banda roja – RED

BLUE: Reflectancia de la banda azul – BLUE

L: Ajuste del fondo del dosel, siendo L = 1

G: Factor de ganancia, donde G = 2.5

C_1: Coeficiente de resistencia de aerosoles, $C_1 = 6$

C_2: Coeficiente de resistencia de aerosoles, $C_2 = 7.5$

1.2.15. Clasificación digital de la imagen

Se desarrolla con imágenes satelitales ráster, resulta ser la fase final del tratamiento digital, aquí es donde el resultado obtenido hasta el momento se convierte a imágenes de tipo vector con lo cual es posible cuantificar áreas. Los resultados que son obtenidos del proceso de clasificación evidencian la calidad final de proyecto realizado de acuerdo al estudio que se desarrolló. Hay dos tipos de clasificación de imágenes que son: (Chuvieco, 1995).

A) Clasificación supervisada

Tiene su inicio en el conocimiento adquirido del área a estudiar bien sea por trabajo de campo ya realizado o por conocimiento propio del área, lo que permite estimar en el área de estudio zonas pilotos característicos por ser representativos de categorías presentadas en la leyenda. Las coordenadas se ingresan en la pantalla por el investigador y posteriormente se asignan categorías que son determinadas por el programa y/o software, luego en base a las coordenadas introducidas se desarrolla el proceso de verificación en campo (Chuvieco, 1995).

B) Clasificación no supervisada

Con esta clasificación se definen categorías espectrales que se encuentran en la imagen, no resultando necesario tener conocimiento o visitar la zona de estudio, por lo cual el ser humano solo interviene con la interpretación (Chuvieco, 1995).

1.2.16. Validación de datos

Los estudios de clasificación en gabinete deben considerar la verificación en campo, permitiendo al investigador y lector determinar el grado de confiabilidad de la clasificación y la realidad. Esto consiste en tener un área test que nos permite tener comparaciones entre mapa y el verdadero terreno, con el objetivo de obtener necesario medidas para la verificación de los resultados (Chuvieco, 1995).

1.3. Definición de términos básicos

Bosque

Es la minimización continua de la cubierta de dosel o la conversión de bosques a otro tipo de tierra, por debajo del 10% que es el umbral mínimo. No abarca los tipos de tierras que son sometidos a usos de predominancia urbano o agrícola (FAO, 2012).

Deforestación

Es la reducción continua de la cubierta boscosa y la conversión en otro tipo de uso de tierra, además involucra la conversión para otro tipo de uso. Está reducción es generada por actividad antropogénica o también de forma natural (FAO, 2012).

Cobertura Vegetal

Es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, cumple múltiples funciones como la captación y almacenamiento de energía, refugio de la fauna, evita la erosión del suelo, medio regulador del clima local, reduce de la contaminación atmosférica, fuente de materia prima y bienestar para el hombre. Se lo considera, desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos (Quispe, 2019).

Reflectancia

Es la proporción de energía incidente que es reflejada por una superficie. Por lo tanto, una magnitud adimensional que puede tomar los valores entre 0 y 1 ó en porcentajes de 0% a 100%. Para una determinada superficie este parámetro varía en función a su longitud de onda (Labrador, 2012).

Combinación de bandas

La combinación de bandas es una imagen compuesta por la combinación de tres bandas diferentes y dispuesta cada una en tres canales de proyección. La combinación de bandas nos permite analizar los objetos de la superficie terrestre en función a su espectro de reflectancia de superficie (Bravo, 2017).

Niveles digitales

En inglés (Digital numbers), es el valor numérico asociado a cada píxel de una imagen. Cuando un sensor registra una imagen, este valor es proporcional a la cantidad de energía electromagnética que detecta (Labrador, 2012).

Imagen multiespectral

Es una imagen captada mediante un sensor, cada satélite tiene incorporado un sensor, y esta es la que mide la energía simultáneamente en dos o más bandas espectrales (Labrador, 2012).

Matriz de confusión

Es una matriz cuadrada en la que se compara la clasificación de dos observadores, comparando la clasificación en gabinete y la clasificación realizada en campo o en imágenes de alta resolución, situando en las filas y columnas las clases que existen en el área de estudio (Boca et al, 2012).

Exactitud del usuario

Se calcula como la razón entre el número de unidades muestreadas que fueron correctamente clasificadas (diagonal) y el número total de unidades que forman esa clase en el mapa (Boca et al, 2012).

Exactitud temática

Describe el grado de fidelidad de los valores de los atributos asignados a los elementos en la base de datos con respecto a su verdadera característica representada en el área de estudio y la clasificación correcta de los objetos y sus relaciones de acuerdo con las especificaciones del producto (MINAM, 2014).

CAPÍTULO II
MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales de investigación

Para el desarrollo de la investigación se emplearon materiales y equipos en referencia a las etapas y/o fases de trabajo.

2.1.1. Etapa de campo

A) Materiales

- Mapas
- Libreta de campo
- Ficha técnica de datos
- 8 pares de pilas Duracel Aa.

B) Equipos

- GPS eTrex 30x
- Cámara fotográfica Sony 20.1 mega pixeles

2.1.2. Etapa de gabinete

A) Materiales

- Materiales de escritorio (papel bond A4 de 75 gr, lapiceros, etc)
- Memoria USB 32 GB

B) Equipos

- Software ArcGIS 10.5
- Imágenes satelitales Landsat 5, y 8 - descargadas de la USGS y Alaska
- Laptop Asus - Core 7

2.2. Métodos

2.2.1. Definición del área de estudio

La investigación fue desarrollada en el ámbito del distrito de Jepelacio cuya altitud es de 1 113 m.s.n.m, pertenece a la provincia de Moyobamba y región de San Martín, específicamente se tuvo como área de estudio al territorio de la subcuenca Gera que tiene una extensión de 21 780.04 hectáreas, donde es

posible apreciar la presencia en su mayoría de bosques secundarios o intervenidos, sobre todo en la parte baja y media de la subcuenca, además de ello existen áreas de cultivos agrícolas como arroz principalmente, se encuentra también áreas urbanas de Jepelacio, Pacaypite, Shucshuyacu, entre otros más, y como principal cuerpo de agua superficial está el río Gera.

2.2.2. Identificación de los productos

A) Landsat

Los productos Landsat son nombrados mediante la convención optada por la NASA.

Tabla 5

Identificador de las imágenes Landsat

IMAGEN LANDSAT 5 y 7	
CÓDIGO: LXSS_LLLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CC_TX	
EJEMPLO: LC08_L1TP_006066_20170722_20170728_01_T1	
DONDE:	
L	Nombre de la misión (L: Landsat)
X	Tipo de sensor: (C:sensor OLI y TIRS; T:Sensor TM; E:sensor ETM)
SS	Número de la misión Landsat (08, 07 ó 05)
LLLL	Nivel de procesado de la imagen según su corrección geométrica y podemos encontrar L1TP, L1GT ó L1GS
PPP	Path referencia global WRS – 2, por ejemplo (008)
RRR	Row referencia global WRS-2, por ejemplo (064)
YYYYMMDD	Fecha de adquisición de la imagen: Año/mes/día
yyyymmdd	Fecha de procesado de la imagen: Año/mes/dia
CC	Número de colección.
TX	Categoría de colección (RT= Tiempo de real, T1= Nivel 1, T2= Nivel

Fuente: Bravo, (2017).

B) Sentinel 2

Tabla 6

Identificador de las imágenes Sentinel 2

Imagen - Sentinel 2	
CÓDIGO: MMM_FFFCCC_YYYYMMDDTHHMMSS_ROOO_AAAAAA_YYYYMMDDTHHMMSS	
EJEMPLO: S2B_MSIL1C_20190409T152649_N0207_R025_T18MTU_20190409T201240	
DONDE:	
MMM	El identificador de la misión (S2A ó S2B)
FFF	Categoría del archivo (MSI)
CCC	Tipo de nivel L1C: Nivel – 1C
YYYY	Año de creación (2019)
MM	Mes de creación (04)
DD	Día de creación
THHMMSS	Tiempo de creación, hora, minutos y segundos (15:26:49)
ROOO	Número de órbita (R025)
DDDDDD	Toma de datos de la misión
AAAAAA	Número de grilla (T18MTU)
CCCC	El identificador único del producto

Fuente: Bravo, (2017).

2.2.3. Acondicionamiento de la cartografía digital

Estas imágenes deben estar proyectadas en una proyección Universal Transversal de Mercator UTM, referida a la zona 18S, y utilizando el datum WGS 84, este paso se realizó con el software ArcGIS 10.5.

2.2.4. Selección de las imágenes satelitales

Para seleccionar las imágenes satelitales se consideraron criterios como menora 10% de nubosidad, dado a que la ubicación altitudinal de Jepelacio es de 1 113

m.s.n.m, y las imágenes siempre suelen presentar porcentajes de nubosidad considerable, además se tuvo en cuenta las estaciones en la que fueron registradas, las seleccionadas corresponden a los años 2007, 2013, 2019. Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM.

Las coordenadas Landsat corresponden a Path: 008, Row 64. (Figura 9), las imágenes satelitales fueron adquiridas de la USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), las cuales están georreferenciadas. Además, se muestra las imágenes Sentinel y el número de grilla al que pertenece (figura 10), estas fueron obtenidas de la página del programa Copérnico.

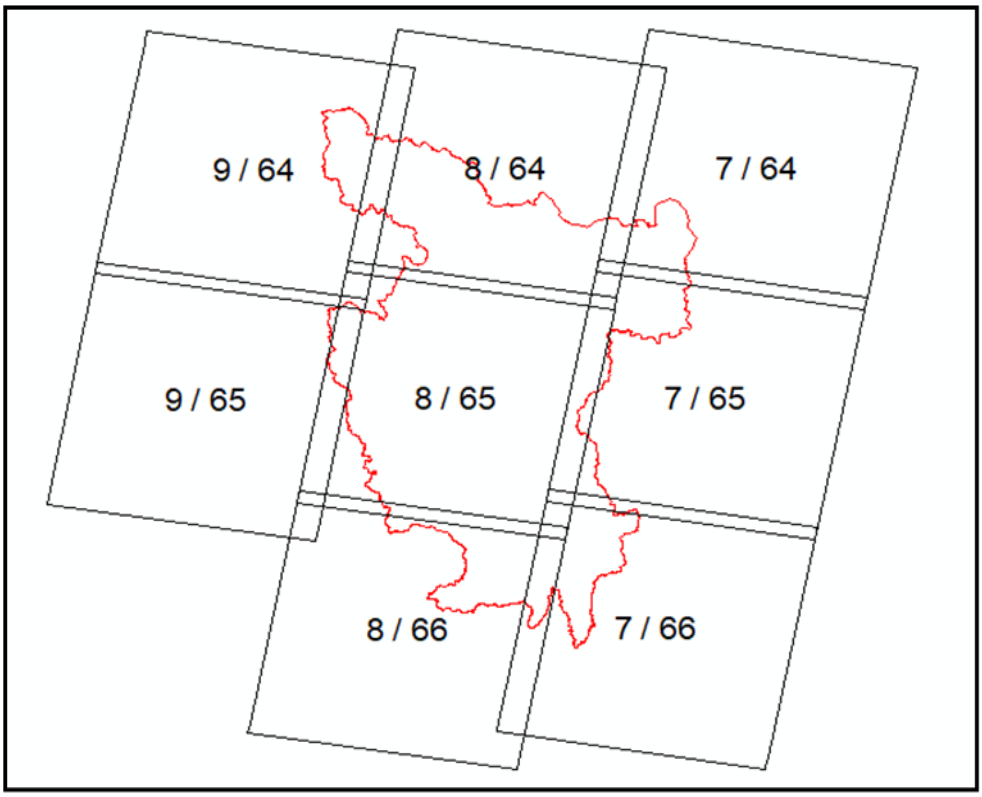


Figura 9. Catálogo de imágenes Landsat utilizado en el mapeo de cobertura vegetal

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura que se necesita solo una imagen satelital Landsat por año, una imagen cubre toda el área de estudio.

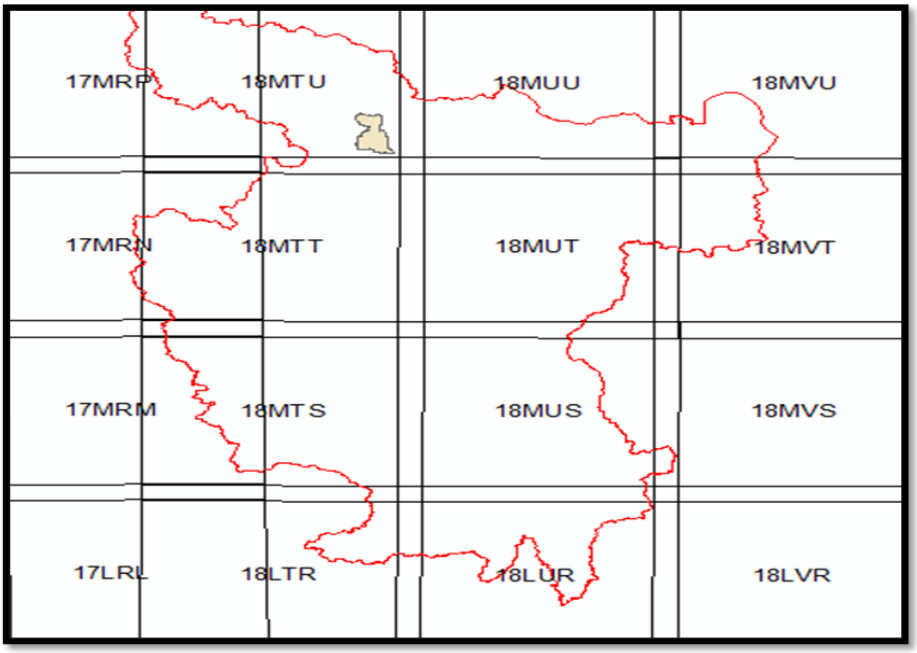


Figura 10. Catálogo de imágenes Sentinel utilizado en el mapeo de cobertura vegetal

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura que se necesita solo una imagen satelital Sentinel por año, una imagen cubre toda el área de estudio.

Tabla 7

Catálogo de imágenes Landsat descargadas para el estudio

Orden	**Path**	**Row**	**Fecha de Toma**
1	008	064	30 – enero- 2007
2	008	064	03 – septiembre - 2013

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Catálogo de imágenes Sentinel descargadas para el estudio

Orden	**Número de grilla**	**Fecha de Toma**
1	18 MTU	09 – abril - 2019

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Combinación de bandas

Se muestra en las imágenes la combinación de bandas 3 – 2 – 1 para Landsat 5 TM y 7 ETM, para mostrar el área de estudio previo a su procesamiento digital. Las representaciones de color natural tienen un aspecto similar a la que vemos

en una imagen fotográfica normal, ya que la combinación de bandas de color natural se aproxima a la percepción del ojo humano. Así podemos observar la vegetación en tonalidades verdes y la deforestación en tonos marrones claros.

Figura 11. Composición de color natural de las bandas de Landsat 5 TM

Fuente: Elaboración propia.

2.2.6. Procesamiento de las imágenes satelitales Landsat 5 y Landsat 7

El procesamiento de las imágenes se desarrolló mediante el programa ArcGIS, donde primeramente se hicieron correcciones antes del análisis con el objetivo de obtener resultados confiables, para ello se emplearon diferentes fórmulas que son descritas a continuación:

Corrección Radiométrica de las imágenes Landsat 5 y 7

Al registrar información el sensor del satélite también identifica energía reflejada por la superficie de la tierra, información y/o datos que son en pixeles de las imágenes satelitales. Este paso permitió la calibración de datos de los pixeles de las imágenes satelitales, transformando a unidades de radiancia los números digitales.

- **Conversión de ND a radiancia**

  La finalidad de las correcciones radiométricas y atmosféricas es convertir a los datos digitales de la imagen satelital en datos de reflectancia, cuyo rango es entre 0-255 (García, 2006).

El sensor mide la radiancia, siendo para imágenes de tipo Landsat la radiancia espectral en el sensor (Lλ), que es medido en [vatios/ (metro cuadrado *ster * µm)]), el mismo que se obtiene mediante dos ecuaciones para determinar Lλ.

$L\lambda = ML * Qcal + AL$

$L\lambda = (L_{MAX}\lambda - L_{MIN}\lambda / Qcalmax - Qcalmin) * (Qcal - Qcalmin) + LMIN\lambda$

Tabla 9

Descripción de la fórmula de conversión de ND a radiancia

Donde:	
Lλ	Radiancia espectral en el sensor (radiancia en el satélite)
ML	Factor multiplicativo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_X, donde x es el número de banda)
AL	Factor aditivo de reescalamiento específico de la banda, proveniente de los metadatos (RADIANCE_MULT_BAND_X, donde x es el número de banda)
Qcal	Valor de píxel discretizados y calibrados del producto estándar (valores digitales ND)
LMAXλ	Radiancia espectral máxima correspondiente a la banda Qcalx.
LMINλ	Radiancia espectral mínima correspondiente a la banda Qcalx.
Qcalmax	Valor máximo del píxel, va a depender de la resolución radiométrica, ejemplo 8 bits es 255.
Qcalmin	Valor mínimo del pixel, en este caso 1. Estos parámetros se encuentran en el fichero de metadatos que incluye la imagen Landsat (MTL.txt).

Fuente: Vaughn, 2019.

- **Determinación de la reflectancia al tope de la atmósfera (TOA)**

El desarrollo de este proceso es teniendo conocimiento del ángulo cenital solar presente en la data de la imagen y la distancia Tierra – Sol en el instante que se registró la imagen. Para emplear la data radiométrica de la imagen en todos los aspectos resulta pertinente cambiar la reflectancia aparente (TOA) a reflectividad de la superficie de la tierra o también conocido como corrección atmosférica (NASA, 2011).

$$P\lambda = (\pi * L\lambda * d^2) / (ESUN\lambda * SEN_{(\Theta SE)})$$

o

$$P\lambda = (\pi * L\lambda * d^2) / (ESUN\lambda * COS_{(\Theta ZE)})$$

Tabla 10

Características de la fórmula de la reflectancia TOA

Donde:	
Pλ	Reflectancia en el techo de la atmósfera del sensor
Lλ	Radiancia espectral en el sensor (Radiancia en el satélite)
d	Distancia Tierra – Sol en el momento de la toma de la imagen, expresada en unidades Astronómicas (Calculado según una fórmula en función del día juliano).
ESUNλ	Irradiación media solar exo-atmosférica.
Θ_{SE}	Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en la metada (SUN ELEVATION)
Θze	Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a: 90 - Θ_{SE}, donde Θ_{SE} es la elevación solar.

Fuente: NASA, 2011.

A) Determinando distancia Tierra – Sol

Además, para el cálculo del parámetro "d" también se puede hacer uso de la siguiente fórmula (Chuvieco, 2008).

d = 1+ 0,0167 * (SENO((2*PI()*((Día Juliano – 93,5)))/365))

d = 1- 0,0167 * COS(2*PI()*(Día juliano – 3)/365)

d = 1- 0,01672 *COS (RADIANS(0,9856)*(Día juliano – 4))

A lo largo del año el valor del parámetro "d" varía entre 0,983 y 1,017 unidades astronómicas.

B) Determinando los valores de irradiancia media solar exoatmosférica ESUNλ (W/(m^2*µm))

Tabla 11

Valores de irradiancia media solar exoatmosférica ESUNλ Landsat

Banda	Landsat 7 ETM +	Landsat 5 TM
1	1970	1958
2	1842	1827
3	1547	1551
4	1044	1036
5	225.7	214
7	82.06	80.65
8	1369	

Fuente: Bravo, 2017.

Asimismo, ESUNλ puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$\mathrm{ESUN}\lambda = \frac{\pi * (d * d) * \mathrm{RADIANCE_MAXIMUN}}{\mathrm{REFLECTANCE_MAXIMUN}}$$

Donde:

RADIANCE_MAXIMUN Y REFLECTANCE_MAXIMUM se encuentran en la metadata de la imagen satelital (Vaughn, 2019).

C) Conversión de grados elevación del sol a radianes

El desarrolló de la conversión de grados a radianes el ángulo de elevación del sol local (SUN_ELEVATION ó ϴSE°), se emplea la siguiente fórmula:

$$(\Theta SE°) * \pi / 180$$

$$(\Theta ZE°) * \pi / 180$$

Tabla 12

Características de la conversión de grados a radianes

Donde:	
Θ_{SE}	Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del centro del escenario en grados se proporciona en la metadata (SUN_ELEVATION)
Θ_{ZE}	Ángulo zenital solar en grados, el cual es equivalente a 90°- Θ_{SE}, donde Θ_{SE} es la elevacion solar

Fuente: Bravo, 2017.

2.2.7. Corrección atmosférica Landsat 5, 7

Este proceso permite la reducción de la distorsión ocasionado por factores de la atmósfera en datos pixeles, entre los factores atmosféricos más importantes se encuentran los aerosoles, vapor de agua, ruido, entre otros. La reducción de la distorsión se desarrolla con corrección atmosférica de la imagen (Chuvieco, 1995).

A) Determinación del efecto bruma

Se encuentra determinado por la formula presentado a continuación:

$Lp = Lmin - LDO1\%$

En particular para imágenes landsat

$Lmin = ML * DNmin + AL$

La radiancia de objeto se desarrolla mediante la siguiente formula:

$L_{DO1\%} = 0{,}01 * [(ESUN_{\lambda} * sen\ (\theta_{SE}) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$

Por lo tanto, el efecto bruma es:

$$Lp = \mathrm{ML} + \mathrm{NDmin} + \mathrm{AL} - \frac{0{,}01 * ESUN\lambda * SEN(\theta SE)}{\pi * (d * d)}$$

Tabla 13

Descripción de la fórmula del efecto bruma

Donde:	
Lp	Efecto bruma
Lmin	Radiancia que corresponde a un valor digital
LDOS1%:	Radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0,01
NDmin	Valor digital mínima
ML	Factor multiplicativo denominado también ganancia "Radiance_mult_band_x"
AL	Constante aditiva denominada sesgo "Radiance_add_band_x"
ESUN λ	Irradiancia media solar exo-atmosférica.
θ_{SE}	Ángulo local de elevación del sol. El ángulo de elevación del sol centro de la escena en grados que se proporciona en la metada (SUN ELEVATION)
d	Distancia de sol – tierra (Unidades astronómicas).

Fuente: Sobrino et al, 2004.

B) Determinación de la reflectancia de superficie

Los efectos atmosféricos (la perturbación de los valores de reflectancia que varía con la longitud de onda) tiene que considerarse para la medición de la reflectancia en la superficie terrestre (Moran, et al 1992).

$$Ps = [\pi * (L\lambda - Lp) * d^{2]} / (ESUN\lambda * SEN_{(\theta SE)})$$

Tabla 14

Descripción de la fórmula de reflectancia de superficie

Donde:	
$\mathbf{P_s}$	Reflectancia de la superficie
$\mathbf{L_\lambda}$	Radiancia espectral de entrada en el sensor
d	Distancia del Sol – Tierra (unidades astronómicas)
ESUNλ	Irradiancia espectral solar exoatmosférica.
$\mathbf{\Theta_{SE}}$	Ángulo de elevación local del sol. El ángulo de elevación del sol centro de la escena en grados que se proporciona en la metada (SUN ELEVATION)
Lp	Es el efecto bruma, en inglés path radiance

Fuente: Moran et al., 1992.

2.2.8. Corrección geométrica de la imagen satelital.

Esta corrección se realiza debido a que partículas cuyo tamaño es más pequeño a comparación con la longitud de onda de la radiación. Esto se asocia normalmente al tipo de radiación causada por las moléculas de los gases atmosféricos (Sánchez, 2009).

2.2.9. Clasificación de la imagen

Bosque

En el área de estudio con respecto a bosques se encontró en su mayoría bosques secundarios o intervenidos, los cuales principalmente están en la parte baja y media de la subcuenca, donde también se concentra un mayor número de hectáreas de cultivos. Por otro lado, la gran parte de los bosques primarios se encuentra en la parte alta de la subcuenca, que en el transcurso de los años de acuerdo a lo obtenido y evidenciado se está disminuyendo considerablemente (Trabajo de campo, 2020).

No bosque

Esta clasificación se les otorga a las áreas como cultivos (en su gran mayoría arroz), área sin cobertura vegetal, principalmente se encuentra en la parte baja y media de la subcuenca (Trabajo de campo, 2020).

Área urbana

Esta clasificación se les otorga a las viviendas, caseríos, centros poblados como Jepelacio, Pacaypite, Shucshuyacu, Barranquita, etcétera, los cuales al momento de la visita en campo fueron identificados (Trabajo de campo, 2020).

Hidrografía

Esta clasificación corresponde a los cuerpos de agua, el río Gera es el principal de la subcuenca, lo recorre casi en su totalidad y termina su curso desembocando en el río Mayo (Trabajo de campo, 2020).

La clasificación de las imágenes se realizó en el programa ArcGIS, con la herramienta de calificación supervisada de máxima veracidad se consideró cuatro categorías de clasificación bosque, no bosque, área urbana, hidrografía.

Tabla 15

Criterios de clasificación

	Criterio de clasificación	Definición en la imagen
	Bosque	Bosques primarios, sus principales características fueron contrastadas en campo, con puntos de muestreo.
	No bosque	Áreas sin cobertura vegetal natural, áreas deforestadas, cultivos, la misma que fueron verificadas en campo con puntos de muestreo.
	Hidrografía	Cuerpo de agua.
	Rural	Viviendas, Centros poblados, etcétera.

Fuente: Chahua, 2019.

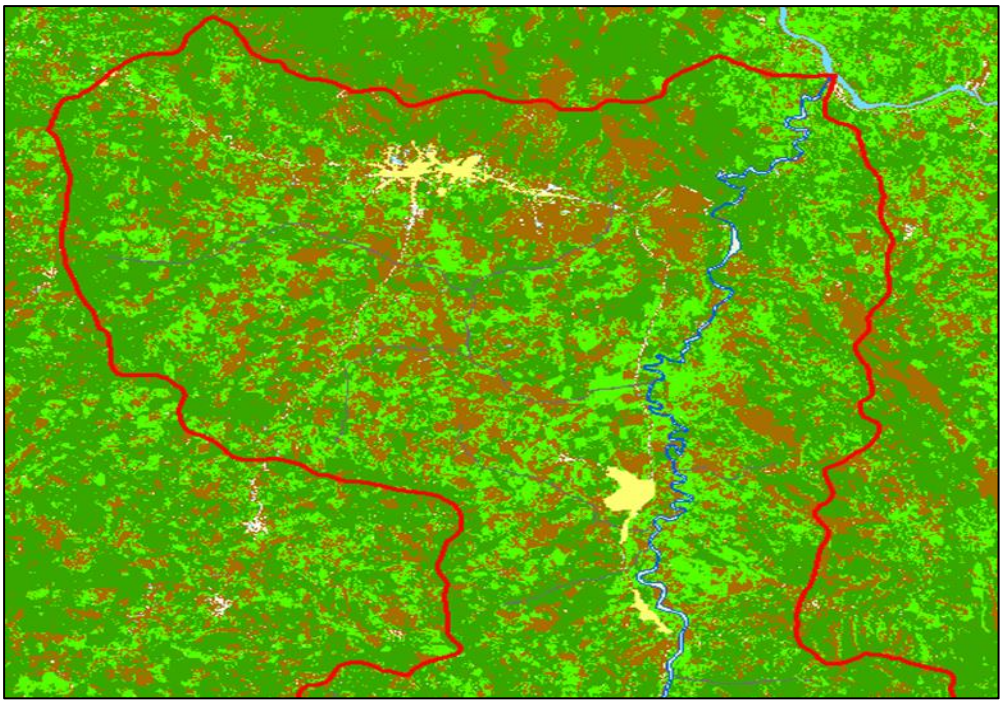


Figura 12. Clasificación de la imagen Sentinel 2A

Fuente: Elaboración propia.

2.2.10. Elaboración de los mapas de pérdida de cobertura vegetal

Con los resultados obtenidos a partir de las clasificaciones, el ráster se convertió en vector (formato shapefile). Los procedimientos son: caja de herramientas > de raster > de ráster a polígono.

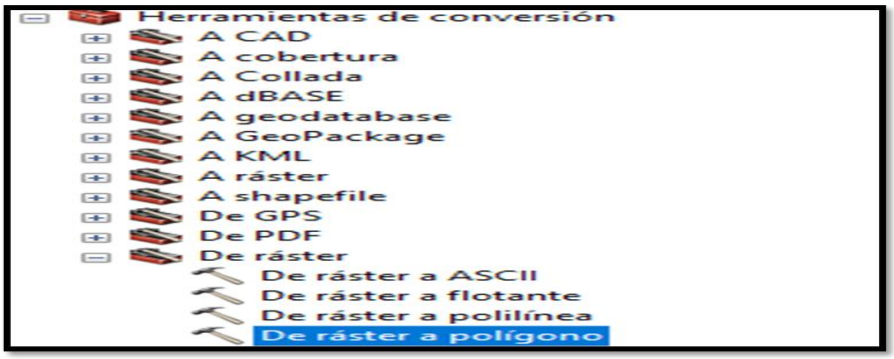


Figura 13. Herramienta para convertir de ráster a polígono

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS.

Se convierte de ráster a polígono con la finalidad de poder calcular áreas, a las entidades bosque, no bosque, área urbana e hidrografía y determinar sus áreas y la tasa de deforestación anual.

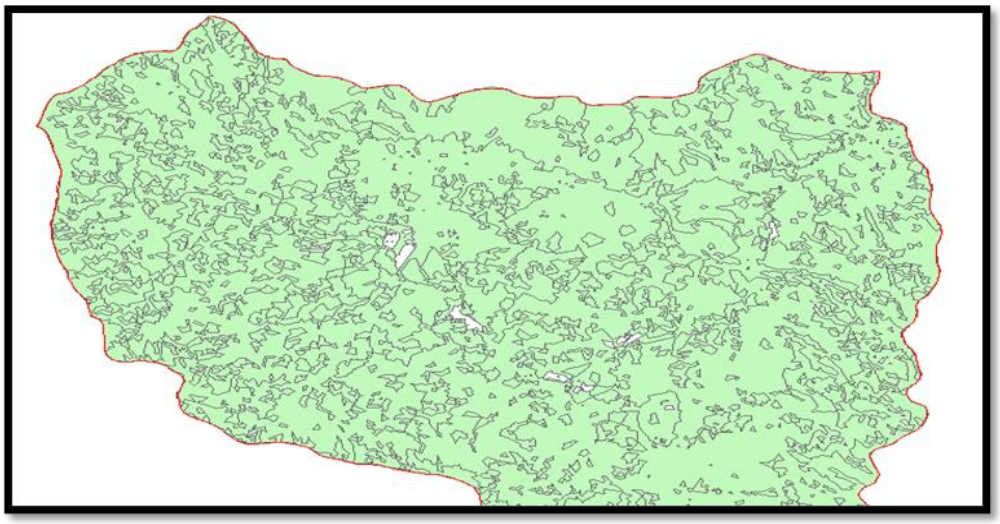


Figura 14. Ráster convertido a polígono

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS.

A cada entidad se le otorga un color para su reconocimiento visual la elaboración de los mapas fue proyectados en datum WGS 1984 y ubicado en la zona 18 S. En tabla de contenidos > capas > clic derecho en propiedades > sistema de coordenadas > WGS 1984 UTM zona 18S.

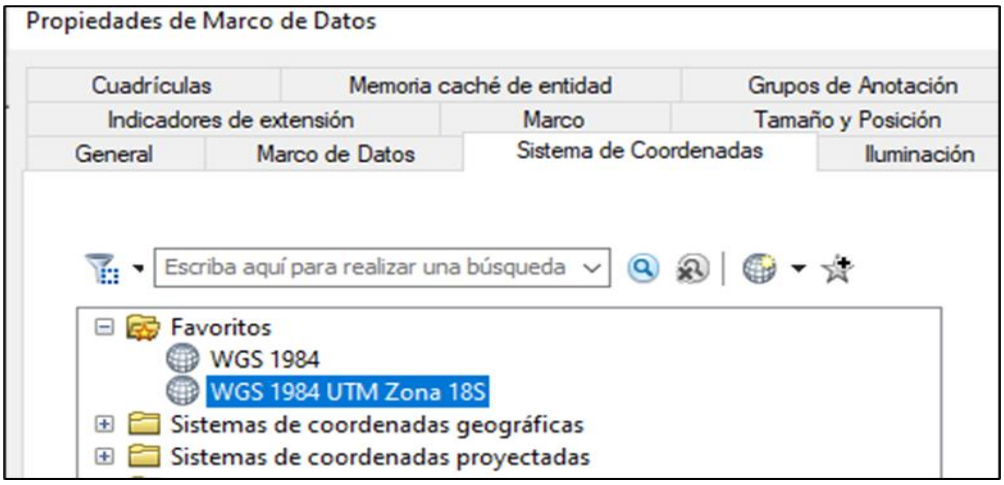


Figura 15. Proyección del datum y zona del mapa de clasificación

Fuente: Elaboración propia en software ArcGIS.

2.2.11. Validación de la clasificación en campo

Con el desarrollo de este proceso es posible validar en campo los resultados obtenidos a nivel de gabinete, a través de este proceso es posible determinar la veracidad y confiabilidad entre el mapa temático elaborado y el área en el terreno (Chuvieco, 1997).

Para determinar la pérdida de cobertura de bosque, El Ministerio del Ambiente mediante la Dirección General de Ordenamiento territorial elaboró una herramienta para "la evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación" con el cual determina la pérdida de cobertura boscosa, esta herramienta supone diseñar reportes estadísticos y de mapas, a partir de los cuales es posible dar validez al error, precisión o confiabilidad, cuyo resultado obtenido es llamado exactitud (MINAM, 2014).

- **Selección del área de referencia**

  Al seleccionar el área referencial se toma en consideración criterios fundamentales que permiten validar los resultados, entre los criterios se encuentran los costos, accesibilidad, la intensidad de cambios de bosques y otros. El área es definida teniendo en consideración la accesibilidad, para lo cual debe considerarse los ríos navegables y la red vial, se debe desarrollar un buffer o conocido como área de influencia de unos 500 m, siendo esta área donde los puntos de muestreo deben ser distribuidos (MINAM, 2014).

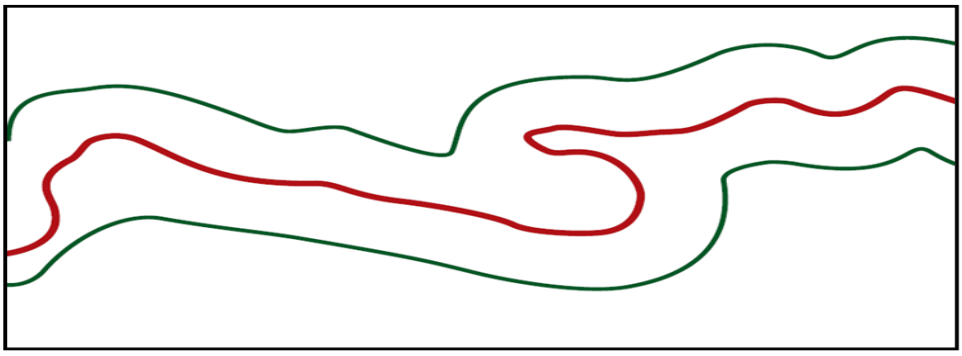


Figura 16. Elaboración del buffer en el área de estudio

Fuente: MINAM, 2014.

- **Diseño de los puntos de muestreo**

  A través de este procedimiento es posible definir la cantidad y/o distribución de las muestras, asimismo, el procedimiento toma en cuenta la determinación del tipo de unidades con una confianza del 95%.

  La muestra está representada por un punto obtenido en gabinete, el cual es comparado en base al mapa clasificado con relación al punto y su ubicación en la superficie de terreno, a nivel de campo el punto es analizado en un área

en torno a un punto, el mismo que está dentro de un pixel de 10 x 10 m, a raíz de que esa resolución espacial tiene la imagen Sentinel 2.

El número de muestras es definido de acuerdo al área total de estudio, tomando en consideración también el nivel de confiabilidad con el cual se pretende realizar la evaluación. Según (Cochran, 1977), es recomendable una distribución binomial de probabilidad en base a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{S^2 * p * q}{E^2}$$

Tabla 16

Descripción de la fórmula de número de muestras

Donde:	
n	Tamaño de la muestra
S	Es el valor de la abscisa de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad, se obtiene de la tabla Z
p	Indica el porcentaje de aciertos estimado por el área de la clase
q	Indica del porcentaje de errores (q =1 – p), e: el nivel permitido del error.
E	Error permitido

Fuente: Cochran, 1977.

Durante el procedimiento se generaron diferentes puntos de muestreo con la información clasificada de bosque, no bosque y deforestación.

- **Levantamiento de puntos en campo**

Para un punto categorizado como bosque, la metodología se basa en evaluar en campo principales variables como porcentaje de copa y altura de bosques.

Tomando en consideración cuatro cuadrantes localizados, desde un punto del centro se realizó el cálculo del dosel de bosque, para lo cual se desarrollaron cuatro mediciones diferentes, uno observando en cada dirección cardinal (evidenciando al oeste, este, norte y sur), para el desarrollo de las mediciones se aseguró que el nivel se encuentre nivelado.

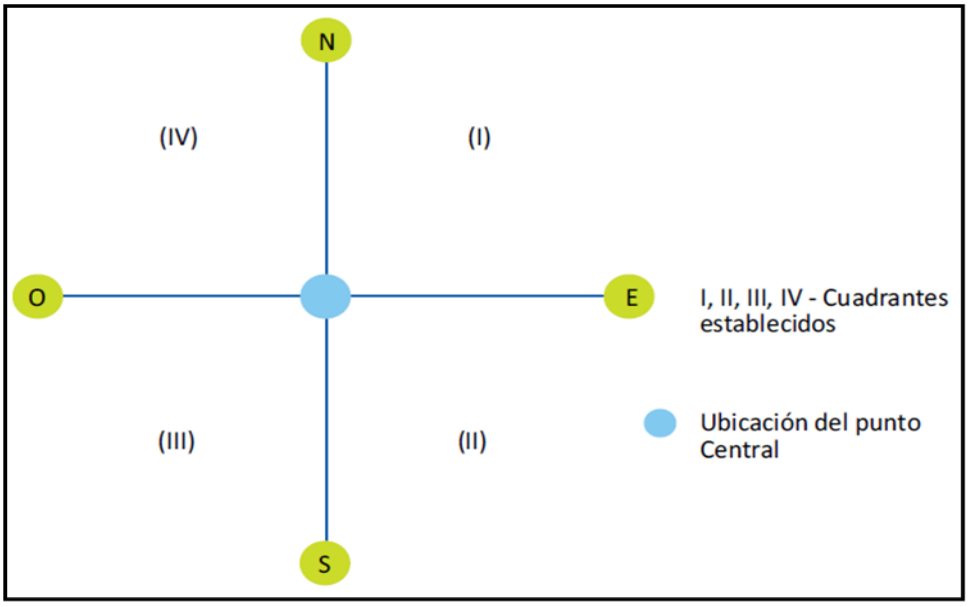


Figura 17. Diseño de los cuadrantes para la verificación de la clasificación

Fuente: MIMAM, 2014.

En base a los 4 cuadrantes localizados en función al punto del centro, se emplea el densiómetro como instrumento para calcular el dosel del bosque.

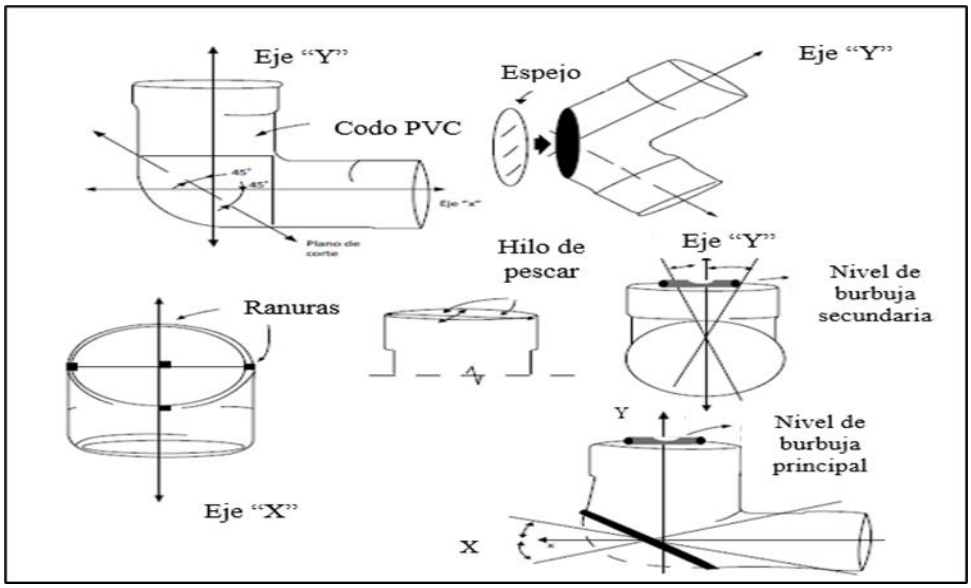


Figura 18. Elaboración del densiómetro

Fuente: MINAM, 2014.

La determinación de la altura de árboles, considera la medición del ángulo (Z) empleando el clinómetro y mediante la wincha se mide la distancia del árbol (AC), se realizaron mediciones en cinco arboles del primer cuadrante considerando la pendiente en que está ubicado el árbol, considerando a una

misma persona para la medición de ángulos de los individuos debido a que la altura debe ser constante para no errar en los cálculos (MINAM, 2104).

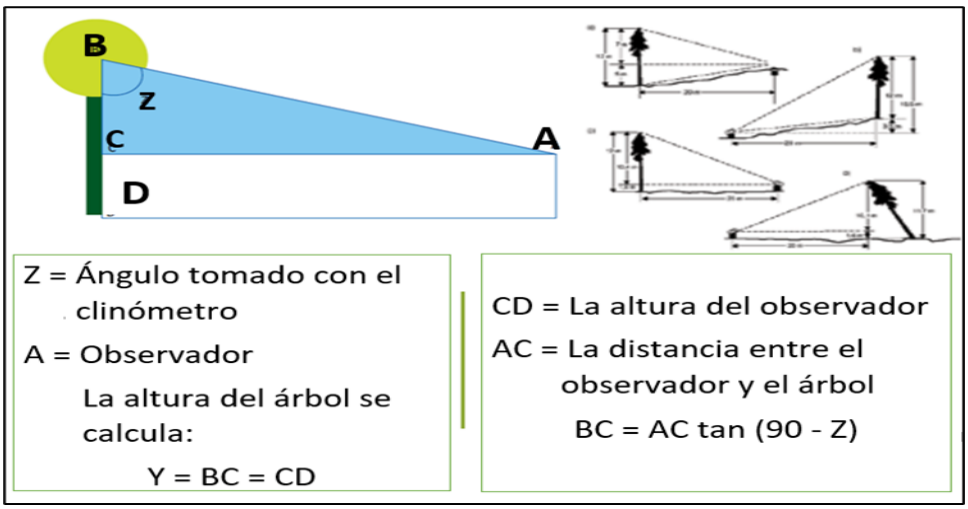


Figura 19. Cálculo de la altura de los árboles

Fuente: MINAM, 2014.

2.2.12. Estimación de la tasa de deforestación anual en los periodos 2007 – 2013 y 2013 – 2019

Se utilizó las imágenes satelitales gratuitas Landsat 5 TM, Landsat 8 ETM y Sentinel 2A, considerando que estás últimas tienen una resolución de 10 x 10 mts en las bandas 4, 3, 2, a comparación de las Landsat, su resolución espacial es mayor.

La clasificación de las imágenes satelitales permitió obtener las áreas de bosque y no bosque de los años de estudio, con las que se calculó la tasa anual de deforestación. Se utilizó la fórmula propuesta por (Laurente, 2014):

$$TAD = \frac{AB\ (final) - AB\ (inicial)}{N}$$

Donde:

TAD = Tasa anual de deforestación

AB (final) = Área boscosa en el año final (ha)

AB (inicial) = Área boscosa en el año inicial (ha)

N = Número de años del periodo de análisis

2.2.13. Análisis de datos

Se desarrolló la matriz de confusión y el cálculo de diversas medidas de exactitud, precisión y error, donde se contrastan los resultados de la interpretación visual de los mapas obtenidos en gabinete (filas), y los resultados obtenidos en el trabajo de campo (columnas).

La diagonal de la matriz expresa el número de datos acertados entre los datos de campo y gabinete, mientras las marginales indican errores de asignación.

De la matriz se desprende los siguientes datos:
Clases bien estimadas: A1, A2, C3, D4
Total, de clases: R+S+T+U+X+Y+Z+W= M
Exactitud del usuario: Clases bien estimadas / total.
Ejemplo: (EP1=A1/ X)
Exactitud del productor: Clases bien estimadas / total.
Ejemplo: (EU1=A1/ R)

Tabla 17

Matriz de confusión

		Supervisión en campo				**Total**	**Exact. del usuario**
		Bosque	**No bosque**	**Área Urb.**	**Hidro-grafía**		
Clasificación	**Bosque**	A1	A2	A3	A4	X	EU1
	No Bosque	B1	B2	B3	B4	Y	EU2
	Área Urbana	C1	C2	C3	C4	Z	EU3
	Hidrografía	D1	D2	D3	D4	W	EU4
	Total	R	S	T	U	M	
	Exact. del product	EP1	EP2	EP3	EP4		Po

Fuente: MINAM, 2014.

2.2.14. Medir la confiabilidad del mapa

Se utilizó el índice Kappa como metodología de medición de la confiabilidad del mapa. Este índice es la fracción de concordancias obtenidos como resultados en un producto cartográfico. Asimismo, es la diferencia entre el resultado de exactitud obtenido en la clasificación del software o programa y la exactitud que fue obtenido en campo (MIMAM, 2014).

$$K = \frac{Po - Pe}{1 - Pe}$$

Dónde:

Po = es el número de aciertos / Número total de clases

Po = (A1 + B2 + C3+D4) / M

Pe = Cálculo desde la matriz de confusión.

Pe = ((EP1 x EU1) + (EP2 x EU2) + (EP3 x EU3) + (EP4 x EU4)) / M^2

Tabla 18

Valores del índice de kappa

Kappa	Grado de concordancia
0,00	Pobre
0,01 – 0,20	Leve
0,21 – 0,40	Aceptable
0,41 – 0,60	Moderada
0,61 – 0,80	Considerada
0,81 – 1,00	Casi perfecta

Fuente: MINAM, 2014.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pérdida de cobertura vegetal durante el periodo 2007 - 2019 de la subcuenca Gera

3.1.1. Superficie de clasificación durante el año 2007

En la clasificación del mapa de cobertura del año 2007 de una superficie de 21 780,04 hectáreas que tiene la subcuenca Gera, se obtuvo en la entidad bosque un total de 16 157,54 hectáreas, para la cobertura de no bosque se determinaron 5 410,67 hectáreas, en tanto la clase urbana tiene la menor superficie que es solo 72,98 hectáreas y, por último, la entidad hidrográfica es de 138,85 hectáreas del total del área.

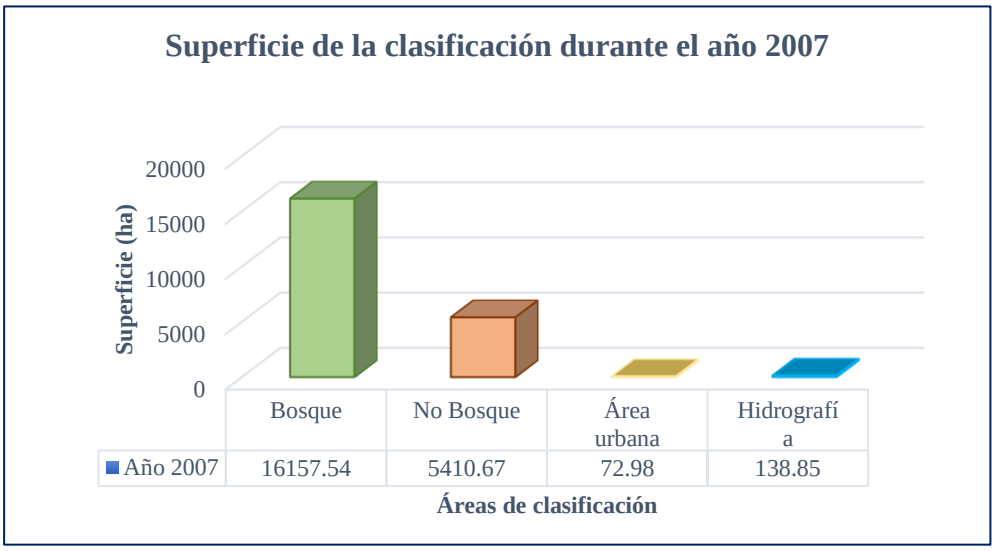


Figura 20. Superficie de clasificación del año 2007

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Porcentaje de la clasificación obtenida del año 2007

En la figura 21, se muestran las superficies encontradas en el mapa de clasificación del año 2007. Se observa que la clasificación bosque es la que tiene mayor superficie, representa el 74,19 % de total de la superficie, seguida por la clase no bosque que no presentan cobertura boscosa que es el 24,84 % del total del área y con superficies menores las clasificaciones de área urbana que es el 0,34 % e hidrografía el 0,64 % del total.

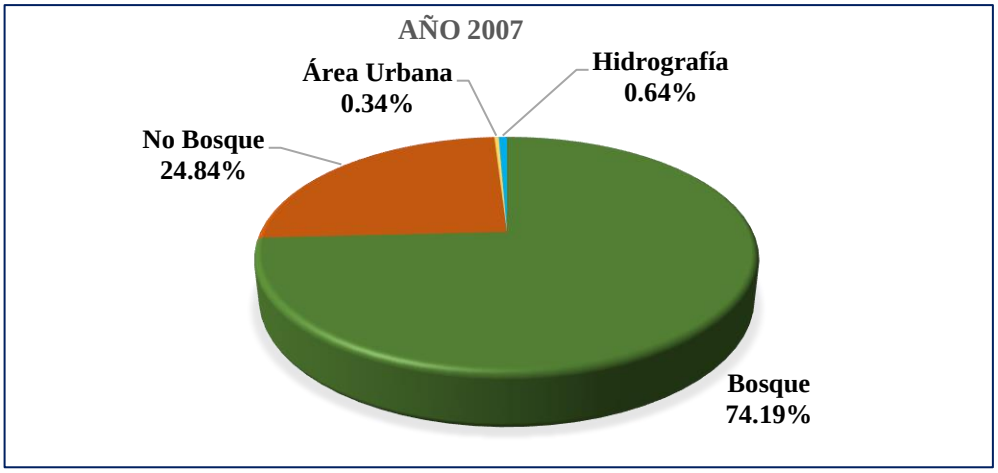


Figura 21. Resultados en porcentaje de las áreas clasificadas del año 2007

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Superficie durante el año 2013

En la clasificación del mapa de cobertura del año 2013 de una superficie de 21 780,04 hectáreas que tiene la subcuenca Gera, se determinó que la entidad bosque tiene un total de 14 304,92 hectáreas, la cobertura de no bosque cuenta con 7 221,86 hectáreas, en tanto la clase urbana tiene la menor superficie que es solo 96,31 hectáreas y, por último, la clasificación hidrográfica es de 156,95 hectáreas del total del área.

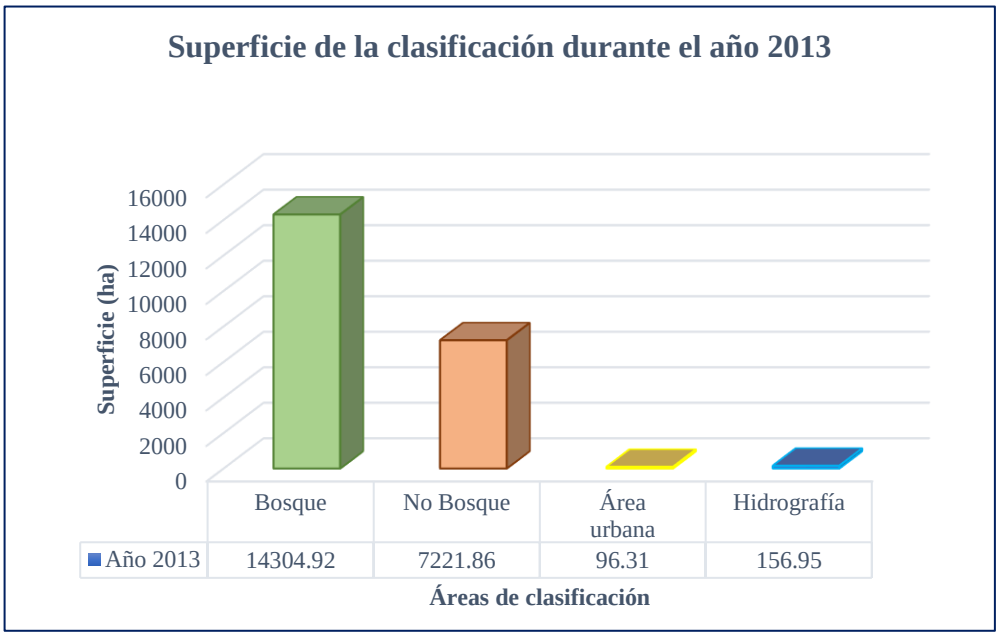


Figura 22. Superficie de clasificación del año 2013

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Porcentaje de la clasificación obtenida del año 2013

En la figura 23, la clasificación del año 2013 muestra las superficies encontradas. Se observa que la categoría bosque es la que tiene mayor superficie y representa el 65,68 % de total de la superficie, seguida por la clase no bosque o superficies que no presentan cobertura boscosa representando el 33,16 % del total del área y con superficies menores se encuentran el área urbana que es el 0,44 % e hidrografía el 0,72 % del total.

En el periodo 2007 y 2013 la entidad bosque disminuyó en un 8,32 % del área total, en la entidad no bosque aumentó en un 8,51%, la entidad área urbana aumentó en un 10% y la entidad hidrografía disminuyó en un 0,08%.

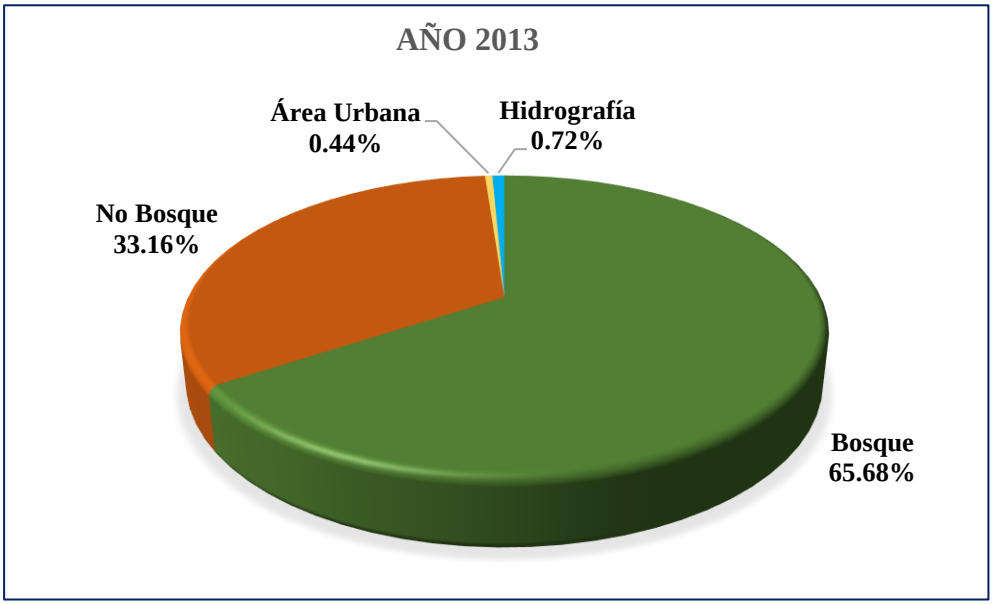


Figura 23. Resultados en porcentaje de las áreas clasificadas del año 2013

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Superficies durante el año 2019

En la clasificación del mapa de cobertura del año 2019 de una superficie de 21 780,04 hectáreas que tiene la subcuenca Gera, se determinó que la entidad bosque tiene un total de 11 032,02 hectáreas, la cobertura de no bosque cuenta con 10 477,37 hectáreas, en tanto la clase urbana tiene 138,80 hectáreas y, por último, la clasificación hidrográfica es la que menor superficie tiene la cual es de solo 113,85 hectáreas del total del área.

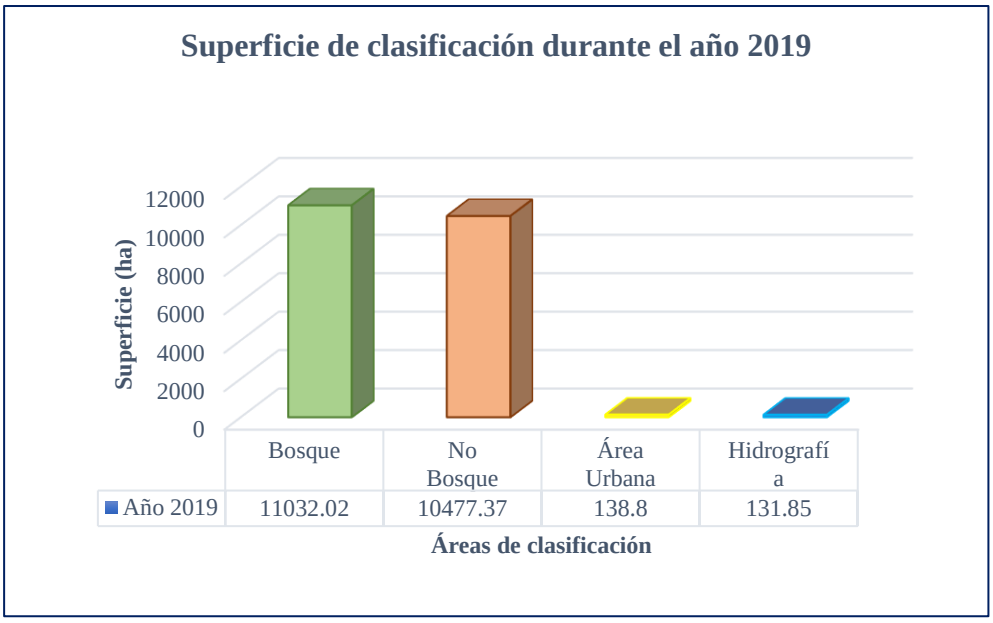


Figura 24. Superficie de clasificación del año 2019

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Porcentaje de la clasificación obtenida del año 2019

Se observa que la clasificación bosque es la que tiene mayor cobertura territorial y representa el 50,65 % del total, seguida por la clase no bosque o superficies que no presentan cobertura boscosa que es el 48,11 % y como áreas menores están las clasificaciones urbanas representando el 0,64 % e hidrografía el 0,61 % del total.

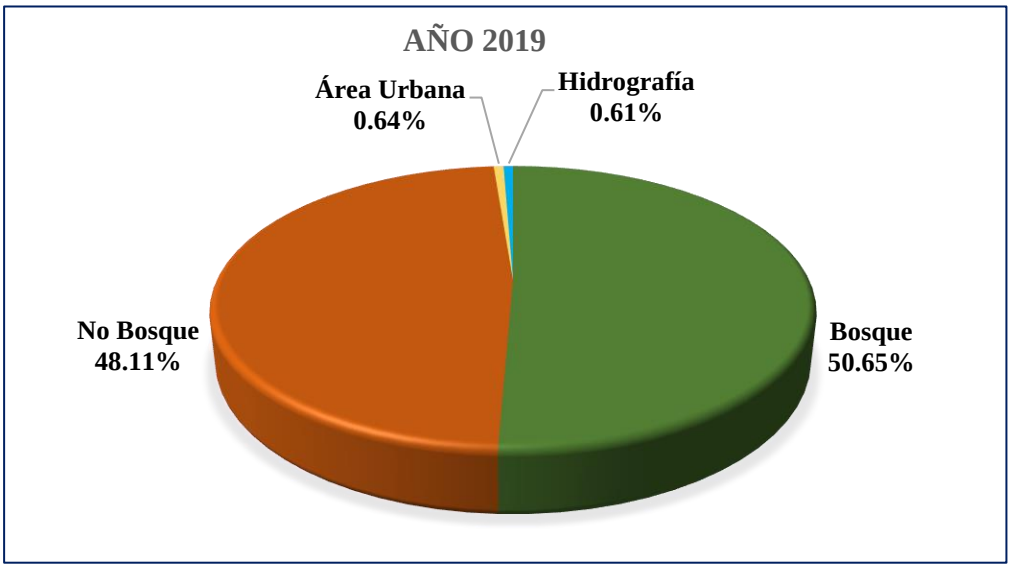


Figura 25. Porcentajes del mapa de clasificación del año 2019.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Comparación de los porcentajes de bosque y no bosque de los años 2007 – 2019

Se interpreta que durante el periodo 2007 - 2013 la cobertura boscosa disminuyó en un 8,51% y entre los años 2013 – 2019 también disminuyó, pero en un mayor porcentaje que es de 15,03 % lo que permite mencionar que entre los años 2007 y 2019 la clasificación boscosa disminuyó en 23,54%, a comparación de la cubierta no boscosa que aumentó en un 8,32% entre los años 2007 - 2013 y entre el 2013 – 2019 aumentó en un 14,95%, pudiendo mencionar con respecto a ello que entre los años 2007 y 2019 la cobertura no boscosa aumentó en un 23,57%.

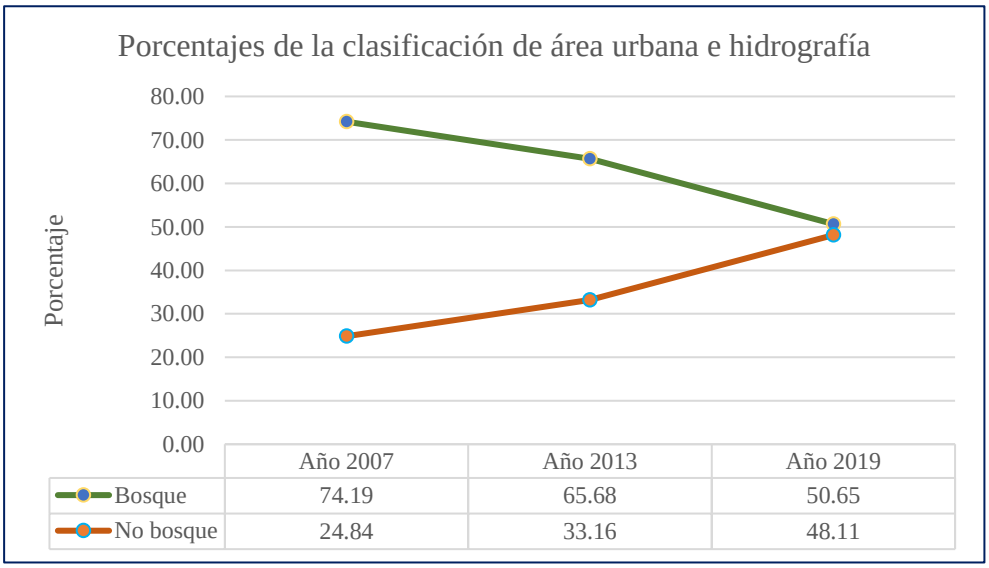


Figura 26. Comparación entre los porcentajes de bosque y no bosque de los años 2007 – 2019

Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. Comparación de los porcentajes de área urbana e hidrografía de los años 2007 – 2019

Se interpreta que durante el periodo 2007 - 2013 área urbana aumentó en 0,10% y entre los años 2013 – 2019 aumentó también, pero en un mayor porcentaje que es de 0,20%, lo que permite mencionar que entre los años 2007 y 2019 la superficie urbana aumentó en 0,30%, a comparación de la clasificación hidrográfica que aumentó en un 0,08% entre los años 2007 - 2013 y entre el 2013 – 2019 disminuyó en un 0,11%, permitiendo mencionar además que entre los años 2017 y 2019 la entidad hidrográfica disminuyó en 0,03%.

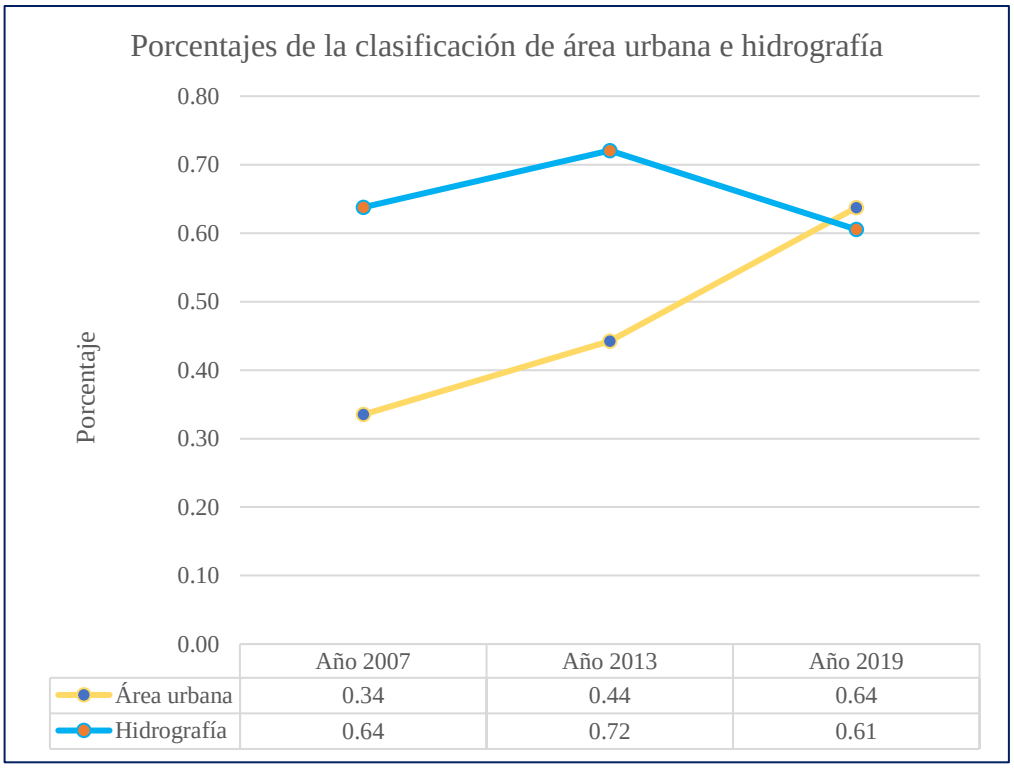


Figura 27. Comparación entre los porcentajes de área urbana e hidrografía de los años 2013 – 2019

Fuente: Elaboración propia.

3.1.9. Superficie de clasificación durante el periodo 2007 – 2019

Se interpreta que durante el periodo 2007 - 2013 la entidad bosque disminuyó 1 852,62 hectáreas y entre los años 2013 – 2019 disminuyó también, pero en mayor cantidad que es de 3 272,90 hectáreas, lo que permite mencionar que entre los años 2007 y 2019 la clasificación boscosa disminuyó un total de 5 125,52 hectáreas, por otro lado con respecto a la entidad no bosque en los periodos 2007 – 2013 y 2013 – 2019 aumentó 1 811,19 y 3 255,51 hectáreas respectivamente, lo que permite obtener una suma de 5 066,70 hectáreas que es lo que la cobertura de no bosque aumentó entre los años 2007 y 2019, asimismo con respecto a la entidad urbana la superficie aumentó 23,33 y 42,49 hectáreas en los periodos 2007 – 2013 y 2013 – 2019 respectivamente, generando entre los años 2007 y 2019 un aumento de 65,82 hectáreas, por último, la clasificación hidrográfica aumentó 18,10 hectáreas en el periodo 2007 - 2013 y disminuyó 25,10 hectáreas en el periodo 2013 – 2019, lo que permite indicar que entre los años 2007 y 2019 disminuyó 7,00 hectáreas.

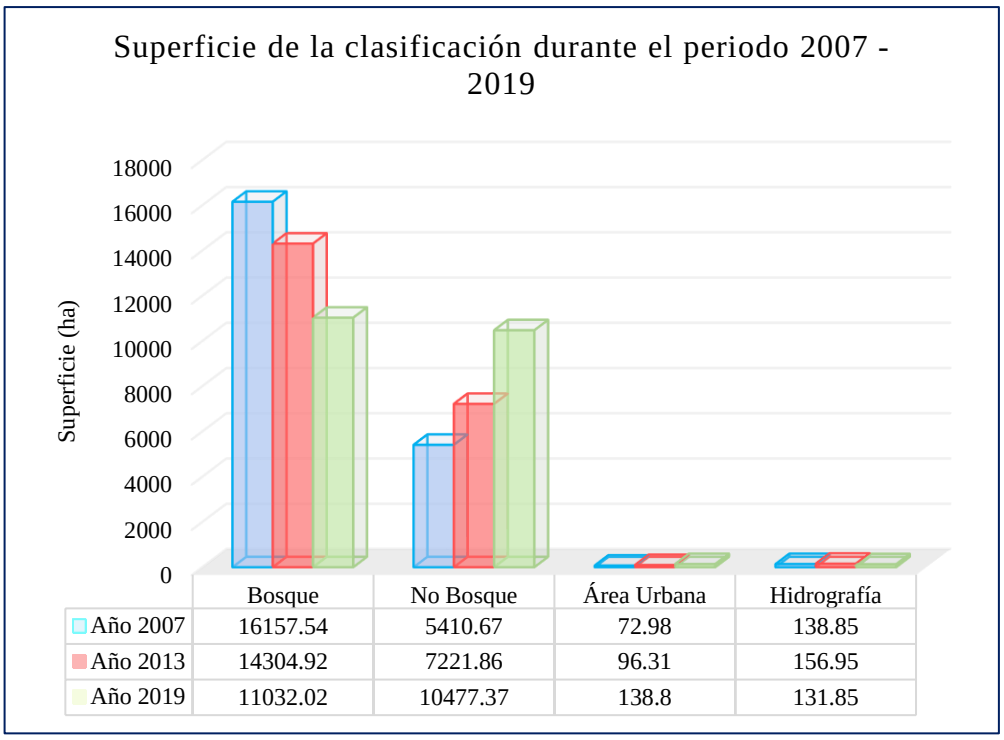


Figura 28. Superficie de clasificación durante el periodo 2007 – 2019

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Tasa de deforestación en la subcuenca Gera

En la tabla 19, se presentan las áreas de clasificación de los años 2007, 2013 y 2019 de la subcuenca Gera. De acuerdo a la tasa de deforestación durante el periodo 2007 – 2013, la cobertura vegetal se deforestó a una velocidad de 380,77 ha/año que representa el 1,42%, en tanto para el periodo 2013 – 2019 la velocidad fue de 545,48 ha/año que es el 2,50%, teniendo un aumento considerable de 236,71 ha/año a comparación del 2007 – 2013.

Tabla 19

Áreas (ha) de las clasificaciones de los años 2007, 2013 y 2019

	2007	2013	2019
Bosque	16157,54	14304,92	11032,02
No bosque	5410,67	7221,86	10477,37
Área Urbana	72,98	96,31	138,8
Hidrografía	138,85	156,95	131,85

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Cálculo de la tasa anual de deforestación (TAD).

Periodo	Tasa anual de deforestación (ha/año)
2007-2013	308,77
2013-2019	545,48

Fuente: Elaboración propia.

- **Análisis de la pérdida de cobertura de la subcuenca Gera y la ZEE**

  De acuerdo a los datos obtenidos de la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) se determinó que, en los años 2001 hasta el 2016 se perdieron 3261,25 ha/año de bosque, y en la presente investigación los datos estimados de pérdida de cobertura vegetal de los años 2007 al 2019 fue de 854,25 ha/año, notándose claramente una diferencia de datos, esto es debido a que en la ZEE abarca 16 años con respecto a este estudio que sólo abarcó 13 años.

3.3. Determinación de la exactitud temática del mapa de pérdida de cobertura vegetal del año 2019

Se realizó la validación del mapa de cobertura obtenido en el trabajo de gabinete con la visita a campo, cuya importancia radica en que esto permitió ver la veracidad de los resultados del mapa elaborado de acuerdo con la realidad en el campo a fin de determinar la validación de su confiabilidad, precisión o error, para ello se desarrolló la distribución de un total de 75 puntos de verificación, de los cuales 65 presentaron similitud de clasificación y 10 de ellos estuvieron mal clasificados a comparación del mapa de clasificación realizado en gabinete. Se obtuvo una exactitud global de 0,85%.

La exactitud del usuario en la clase bosque presenta el valor de 0,94% a comparación de exactitud del productor con un 0,63%, a comparación de la clase no bosque la exactitud del productor es de 0,96% y un menor porcentaje en exactitud del usuario con 0,72%, en la clase área urbana e hidrografía presentan exactitud del usuario y exactitud del productor un 100%. El índice de kappa obtenido a partir de este estudio es de 0,80%.

Tabla 21

Cálculo de la matriz de confusión

		RESULTADOS DE CAMPO					
	Clase	Bosque	No bosque	Área urbana	Hidrología	Total	Exact. del usuario
CLASIFICACIÓN	Bosque	**15**	1	0	0	16	0,94
	No bosque	8	**23**	1	0	32	0,72
	Área urbana	1	0	**17**	0	18	0,94
	Hidrología	0	0	0	**9**	9	1,0
	Total	24	24	18	9	75	
	Exactitud del productor	0,63	0,96	0,94	1,0		0,85

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Discusión de resultados.

Se obtuvo tasa de deforestación durante el periodo 2007 – 2013 de 308,77 ha/año y 545,48 ha/año durante el periodo 2013 -2019, este resultado se asemeja con lo encontrado en la bibliografía consultada del MINAM (2019), donde afirma que la región San Martín es una de las regiones que presenta mayor pérdida de cobertura boscosa durante el periodo 2001 – 2018, siendo las principales amenazas de deforestación el cambio de uso de suelos, actividades extractivas ilegales e informales, expansión no planificada, migración, pobreza y baja productividad, información que además afirma Rojas et al., (2019) a través de los resultados de su investigación.

Alegre (2017), determinó a través de su investigación en su área estudiada que durante los años 1997 – 2017, la cobertura vegetal disminuyó 39 492,3 ha que representa el 10,5% del total de su área, de igual modo Burga (2016) entre los años 2000 – 2014 encontró que se deforestaron un total de 79 723,01 ha que es el 4,07% de la superficie total, si bien ambos resultados al ser comparados con los encontrados en la presente investigación nos muestran una diferencia extrema con respecto a las hectáreas deforestadas dado que se determinó un total de 5 125,52 ha de perdida vegetal durante el periodo de 2007 – 2019, pero que al comparar los porcentajes de deforestación es

posible indicar que en la subcuenca Gera durante un menor número de años estudiados se deforestó un mayor porcentaje que es de 23,54% a comparación de lo encontrado por los mencionados autores, dando a entender de esta manera la gravedad de la problemática de pérdida de cobertura vegetal en el área de estudio.

Durante 30 años de estudio que corresponde al periodo 1986 – 2016 Rodríguez (2018), encontró que el distrito de Sauce perdió el 25,66% de su cubierta de bosques, dicho resultado mantiene solo una diferencia de 2,12% con lo encontrado que es de 23,54% pero en tan solo 12 años de estudio, mostrando una vez más el proceso acelerado de la pérdida de cobertura vegetal en la subcuenca Gera; resultados que además son validados con las tasas de deforestación donde mencionado autor determinó en su primer y segundo periodo tasas de deforestación de 1,11% y 1,22% y en la presente investigación se encontraron tasas mayores que son 1,42% y 2,50% para el primer y segundo periodo respectivamente.

El MINAM (2014) presenta seis grados de concordancia de acuerdo a los valores del índice de Kappa, en la investigación se realizó la validación de los mapas de cobertura con visitas a campo, determinando una exactitud temática de 0,80 % que al ser comparado con los grados del protocolo se determinó que el trabajo de investigación desarrollado es considerable aceptable.

CONCLUSIONES

Al evaluar la pérdida de cobertura vegetal en la subcuenca Gera que tiene una superficie de 21 780,04 ha, se concluye que, durante el periodo de estudio, el aumento de la superficie no boscosa que es de 23,57% del área total, se debe a la práctica incontrolada de la deforestación y al crecimiento del desarrollo de actividades agrícolas, que principalmente ocurren en la parte baja y media de la subcuenca, asimismo a ello se suma el aumento del área urbana dentro que representa el 0,30% de incremento entre los años estudiados, porcentajes que representados en hectáreas muestran la gravedad de la problemática, lo que genera pérdidas considerables de la cobertura vegetal y con ello el deterioro o disminución de los servicios ecosistémicos de provisión, regulación, culturales y aquellos de soporte y mantenimiento de la biodiversidad.

La pérdida de cobertura vegetal durante el periodo 2007 – 2013 es de 1 852,62 hectáreas, el cual representa el 8,51% del área total, durante el periodo 2013 – 2019 la superficie deforestada es de 3 272,9 hectáreas y representa el 15,03% del área total de la subcuenca. El periodo con mayor pérdida de cobertura vegetal es 2013 – 2019, pudiendo afirmar con ello que conforme pasen los años la deforestación seguirá incrementando en la subcuenca Gera, por lo que es necesario la pronta implementación de estrategias y/o medidas para controlar el problema.

La tasa anual de deforestación durante los periodos 2007 – 2013 y 2013 – 2019, es de 308,77 ha/año (1,42%) y 504,48 ha/año (2,50%), respectivamente, lo que permite concluir que el periodo con mayor tasa anual de deforestación corresponde al de los años 2013 – 2019.

A partir de la elaboración de la matriz de confusión, se determinó el nivel de exactitud temática del mapa de clasificación del año 2019, evaluando la relación que existe entre la clasificación del mapa y la realidad en campo. Se aplicó una evaluación de muestreo aleatorio sistemático no alineado estratificado con puntos de validación con un nivel de confianza del 95%. El resultado general determinó una exactitud de mapa del 0,80% considerándose como confiable, este resultado se considera como favorable para la investigación, permitiendo afirmar que los resultados obtenidos a partir de la clasificación son eficientes en el mapeo de la pérdida de cobertura vegetal.

RECOMENDACIONES

Para estudiantes de ingeniería y en particular de la escuela de Ingeniería Ambiental, continuar con el uso de las imágenes Landsat y Sentinel para el análisis de la pérdida de cobertura vegetal en otras subcuencas y microcuencas de la región y del Perú, logrando así un aporte científico de suma importancia ambiental, económica y social.

A las autoridades municipales pertenecientes a la subcuenca Gera, con los recomendarles la formulación y ejecución de proyectos de reforestación en la parte alta, media y baja de dicha subcuenca, lo que permitirá recuperar parte de la cobertura boscosa y con ello controlar los efectos del cambio climático, además deben implementar acciones y estrategias que permitan inculcar el desarrollo de la agricultura sostenible.

A la población perteneciente a la subcuenca Gera, recomendarles el desarrollo de prácticas de reforestación en sus territorios con especies de plantas características de la zona a fin de incrementar la cobertura de bosques, asimismo a los agricultores recomendarles el desarrollo de agricultura sostenible con el ambiente.

En general, realizar investigaciones con otras metodologías, con el propósito de comparar y mejorar el proceso, teniendo como resultado de la clasificación y edición de una forma más automatizada y precisa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMEK, K., LUPA, M., & ZAWADZKI, M. Remote sensing techniques for tracking changes caused by illegal gold mining in Madre de Dios, Peru. Miscellanea Geographica, 25(4), 205–212, 2021. https://doi.org/10.2478/MGRSD-2020-0028

ALEGRE, Klisman. Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal. Tesis (Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2017. 59 pp.

BOCA, Teresa., RODRIGUEZ, Gabriel. *Métodos estadísticos para la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos*. 2012. [fecha de consulta: 12 de enero de 2020]. p 16.
Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_mtodos_est__sensores.pdf

BRAVO, Nino. Teledeteccion espacial Landsat, Sentinel 2, Aster L1T y Modis [En línea]. 1.a ed. Huánuco – Perú, 2017. [fecha de consulta: 28 de marzo de 2020].
Disponible en: https://acolita.com/wpcontent/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf

BURGA, Manuel. Incremento de la deforestación y sus consecuencias en la pérdida de biomasa en los bosques de la provincia alto amazonas del departamento de Loreto, 2000-2014. Tesis (Licenciado en ecología). Perú: Universidad científica del Perú, 2016. 3pp.

CARRANZA, Jherson y TASILLA, Flor Esmeralda. Pérdida de cobertura vegetal en el distrito de Morales, San Martín, Perú (periodo 1987 – 2017). Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo [en línea]. Octubre-noviembre 2020, n.° 1. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2021].
Disponible en: https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1400 ISSN 2410-843x

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de la teledetección espacial. [En línea] Segunda edición. España. Editorial RIALP. S. A. 1995. [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2020]
Disponible en: http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf ISBN: 84-321-2680-1995

CHUVIECO, Emilio. Teledetección ambiental. [En línea]. Tercera edición. España. Editorial book print digital. 2008. [Fecha de consulta: 18 de enero de 2020]
ISBN: 978-84-344-8073-3

COCHRAN, William. *Sampling techniques*. [En línea] 3ª edición. Estados Unidos. 1977. [Fecha de consulta: 16 de enero de 2020]. Disponible en: https://www.academia.edu/29684662/Cochran_1977_Sampling_Techniques_Third_Edition ISBN: 0-471-16240-X

CONDORI, Ismale.; LOZA, Manuel.; MAMANI, Francisco y SOLÍS, Hugo. *Análisis multitemporal de la cobertura boscosa empleando la metodología de teledetección espacial y SIG en la sub-cuenca del río Coroico - provincia Caranavi en los años 1989 – 2014*. Bolivia [En línea]. Febrero 2018. Pag; 25-44. [Fecha de consulta: 01 de abril de 2020].
Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v9n1/v9n1_a03.pdf ISSN: 2072-9294

DANCÉ, José.; SÁENZ, Domingo. Estado de la situación y gestión ambiental en el Perú - Lima. Universidad de San Martín de Porras. 1ª versión. 2013. 179 p.

DZAWANDA, B., & NCUBE, S. An assessment of vegetation cover changes and soil erosion hazard in muzvezve sub-catchment area, Zimbabwe. African Geographical Review, 41(1), 125–142, 2020. https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1856156

FAO. FRA 2015 términos y definiciones. Roma. Disponible en FAO. Evaluación de los recursos forestales mundiales. FAO [en línea]. Roma. 2012. [Fecha de consulta: 18 de febrero de 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i4808s.pdf ISBN: 978-92-5-308826-3

FENG, D., FU, M., SOL, Y., BAO, W., ZHANG, M., ZHANG, Y., & WU, J. How Large-Scale Anthropogenic Activities Influence Vegetation Cover Change in China? A Review. Forests, 12(3), 320, 2021. https://doi.org/10.3390/F12030320

GARCIA, Vladimir. Análisis de la deforestación en el bosque de protección Alto Mayo, mediante las técnicas de Geomática. Tesis (Magíster en gestión y auditorías ambientales). Piura: Facultad de ingeniería de Piura. 2008.

GARCÍA, Erick. Corrección del sombreado topográfico en imágenes Landsat ETM+, aplicado al inventario de cuerpos de agua. Tesis (Ingeniero Geógrafo). Lima: Universidad Nacional de San Marcos, 2006. 46 pp.

GONZÁLEZ, Alba. Análisis multitemporal de imágenes satelitales para conocer la calidad de agua para conocer la calidad del agua en la presa: valle del Bravo. Tesis (Ingeniero Civil). México: Facultad de ingeniería, 2012. 40 pp.

GORGAZA, Carlos. Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia de Loja, Ecuador. Tesis (Magister en geomática). Ecuador. Universidad Nacional de La Plata. 2014. 31 pp.

HEILEEN, Arias.; MORA, Rodolfo., VARGAS, Cristian. *Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot 2 y landsat 8 con el módulo flaash del software envi*. [En línea]. Septiembre 2014. [fecha de consulta 12 de abril de 2020]. pp 39 -59
ISSN: 1011-48X / DOI: https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2

HOU, X., ZHANG, S., RUAN, Q., & TANG, C. Synergetic impact of climate and vegetation cover on runoff, sediment, and nitrogen and phosphorus losses in the Jialing River Basin, China. Journal of Cleaner Production, 361, 132141, 2022. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.132141

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, CO). Descripción y Corrección de Productos Landsat 8. Landsat Data Continuity Mission (LDCM) Versión 1.0, Grupo

interno de trabajo de percepción remota y aplicaciones geográficas. Bogotá, CO.2013. 7 pp.
Disponible en: http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf

KAFY, A., FAISAL, A., RAKIB, A., FATTAH, A., RAHAMAN, Z., & SATTAR, G. Impact of vegetation cover loss on surface temperature and carbon emission in a fastest-growing city, Cumilla, Bangladesh. Building and Environment, 208, 108573, 2022. https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.108573

LABRADOR, Mauricio, EVORA, Juan, ARBELO, Manuel. Satelites de teledetección para la gestión del territorio [En línea]. 2012
Disponible en:
http://www.gmrcanarias.com/wpcontent/uploads/2016/01/20_catalogo_satelites_es.pdf
ISBN: 13:978-84-695-3276-8

LAURENTE, M. 2014. Medición de la deforestación mediante percepción remota en la microcuenca río Supte, Tingo María – Perú, GeoFocus (Informes), nº 11, p. 1-15. ISSN: 1578-5157.

MAMANI, Segundo., SERVAN, Lisved. Evaluación multitemporal de la deforestación en el distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, departamento Amazonas. 2015. Tesis (Ingeniero Ambiental). Perú: Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2017. 52 pp.

MARAJH, L., & HE, Y. Temperature Variation and Climate Resilience Action within a Changing Landscape. Remote Sensing, 14(3), 701, 2022. https://doi.org/10.3390/RS14030701

MENDOZA, Hernán y CARRERO, Lucy. Determinación de la pérdida de cobertura vegetal a través de un análisis multitemporal en la finca la esperanza ubicada en el municipio de Carcasí – Santander. Tesis (Ingeniero Ambiental). Colombia: Universidad de Cundinamarca, 2020. 28 pp.

MINAM. Evaluación de la exactitud temática del mapa de deforestación. Dirección general de ordenamiento territorial – Lima. Ministerio del Ambiente. Primera edición. 2014. 32 pp.

Ministerio del Ambiente (MINAMa). Deforestación en Perú habría alcanzado 147,000 hectáreas en el 2019. Gestión, 30 de enero de 2020a. https://gestion.pe/peru/minam-deforestacion-en-peru-habria-alcanzado-147000-hectareas-en-el-2019-noticia/?ref=gesr

Ministerio del Ambiente (MINAMb). San Martín: estadísticas ambientales, diciembre 2020b. SINIA, Sistema Nacional de Información Ambiental. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/san-martin-estadisticas-ambientales-diciembre-2020

Ministerio del Ambiente (MINAM). Apuntes del Bosque No 1. Cobertura y deforestación en los bosques húmedos amazónicos 2018. 2019. http://www.bosques.gob.pe/archivo/Apuntes-del-Bosque-N1.pdf

MISHRA, R., SINGH, E., KUMAR, A., & KUMAR, S. Application of remote sensing for assessment of change in vegetation cover and the subsequent impact on climatic variables. Environmental Science and Pollution Research, 28(31), 41675–41687, 2021. https://doi.org/10.1007/S11356-021-13563-9

MORAN, Susan.; JACKSON, Ray.; STALER Philip.; TEILLET, Philippe. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output Remote Sensing of Environment. 1992. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. 169-184pp
Disponible en: https://naldc.nal.usda.gov/download/37763/PDF
ISSN: 0034-4257

NASA. Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt. 2011. 186pp.

NASA. Landsat 7 Science Data Users Handbook [en linea]. EE.UU. 2013
Disponible en: https://www.usgs.gov/media/files/landsat-7-data-users-handbook

QUISPE, Idle. Cambio de cobertura vegetal en la cuenca del río Zapatilla Ilave- Juli. Tesis (Ingeniería ambiental). Perú: Universidad Nacional del Antiplano, Facultadde ciencias agrarias. 2019. 39 pp.

RAWAT, Jainti., KUMAR, Manish. Monitoreo del uso de la tierra, cambio de cobertura mediante teledeteccion y técnicas SIG: un estudio de caso del bloque Hawalbagh, distrito de Almora, Uttarakhand, India [En línea]. 2015, Vol 18, pág. 77-84. 2015. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020]
Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982315000034
ISSN: 1110-9823

RICHARDS, D., & BELCHER, R. Global Changes in Urban Vegetation Cover. Remote Sensing, 12(1), 23, 2020. https://doi.org/10.3390/RS12010023

RODRIGUEZ, Nelson. Determinación de la deforestación entre los años 1986 y 2016 mediante las técnicas de teledetección y SIG, distrito de Sauce – Perú. Tesis (Ingeniero Ambiental). Perú: Universidad Peruana Unión, 2018 – T. 88pp.

ROJAS, Nilton., BARBOZA, Elgar., MAICELO, Jorge., OLIVA, Segundo y SALAS, Rolando. Deforestación en la Amazonía peruana: Índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG, Perú [en línea]. 2019, Pag: 1-34. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2019].
Disponible en: http://dx.doi.org/10.21138/bage.2538a ISSN: 2605-3322

ROUSE, Jhon.; HAAS, Hall.; SCHELL, Dylan.; DEERING, D.; HARLAN, J. Monitoring the vernal advanced and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt. Maryland, US: NASA/GSFC. 87 p.

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla. 2015. https://keneamazon.net/Documents/SDG-Peru/PERUVIAN-AMAZON-DEFORESTATION-ANALYSIS-2017.pdf

SOBRINO, José.; JIMÉNEZ, Juan.; PAOLINI, Leonardo. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. [En línea]. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2019]. Disponible en: https://www.uv.es/ucg/articulos/2005/Publications_2004_10.pdf
ISSN: 0034-4257

PEGUERO, Carlos. Sensores remotos y aplicaciones en la teledetección [En línea]. Dpto. Innovación y tecnología. 2012
Disponible en: https://www.academia.edu/23743025/SENSORES_REMOTOS_Y_APLICACIONES_EN_TELEDETECCI%C3%93N_GEODESIA_Y_GESTI%C3%93N_DE_RECURSOS_NATURALES_Y_PATRIMONIO_NATURAL?auto=download

PÉREZ, Carlos., MUÑOZ, Ángel. Teledetección Nociones y Aplicaciones. Universidad de Salamanca [En línea]. 2006. [Fecha de consulta: 02 de mayo de 2020]. 356 p.
Disponible en: https://mundocartogeo.files.wordpress.com/2015/03/teledeteccion-nocionesaplicaciones-2006publico.pdf
ISBN-10: 84-611- 1613-5

TAFUR, V., ESENARRO, D., MEDINA, C., BETETTA, J., TÚLLUME, M., & AMAYA, P. Reflections on the deforestation of the peruvian amazonian forest for agricultural land use, period 2001-2018. International Journal of Mechanical Engineering, 7(2), 1345–1355, 2022. https://kalaharijournals.com/resources/FebV7_I2_149.pdf

TIZADO, Jorge. Calculates top-of-atmosphere radiance or reflectance and temperature for Landsat MSS/TM/ETM+/OLI. Web. 2018. [Fecha de consulta: 28 de marzo de 2020]
Disponible en: https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/i.landsat.toar.html

VAUGHN, Ihlen. Data User Handbook – USGS [en linea]. version 2. Estados Unidos. 2019
[fecha de consulta: 28 de marzo de 2020]
Disponible en: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7-data users-handbook.

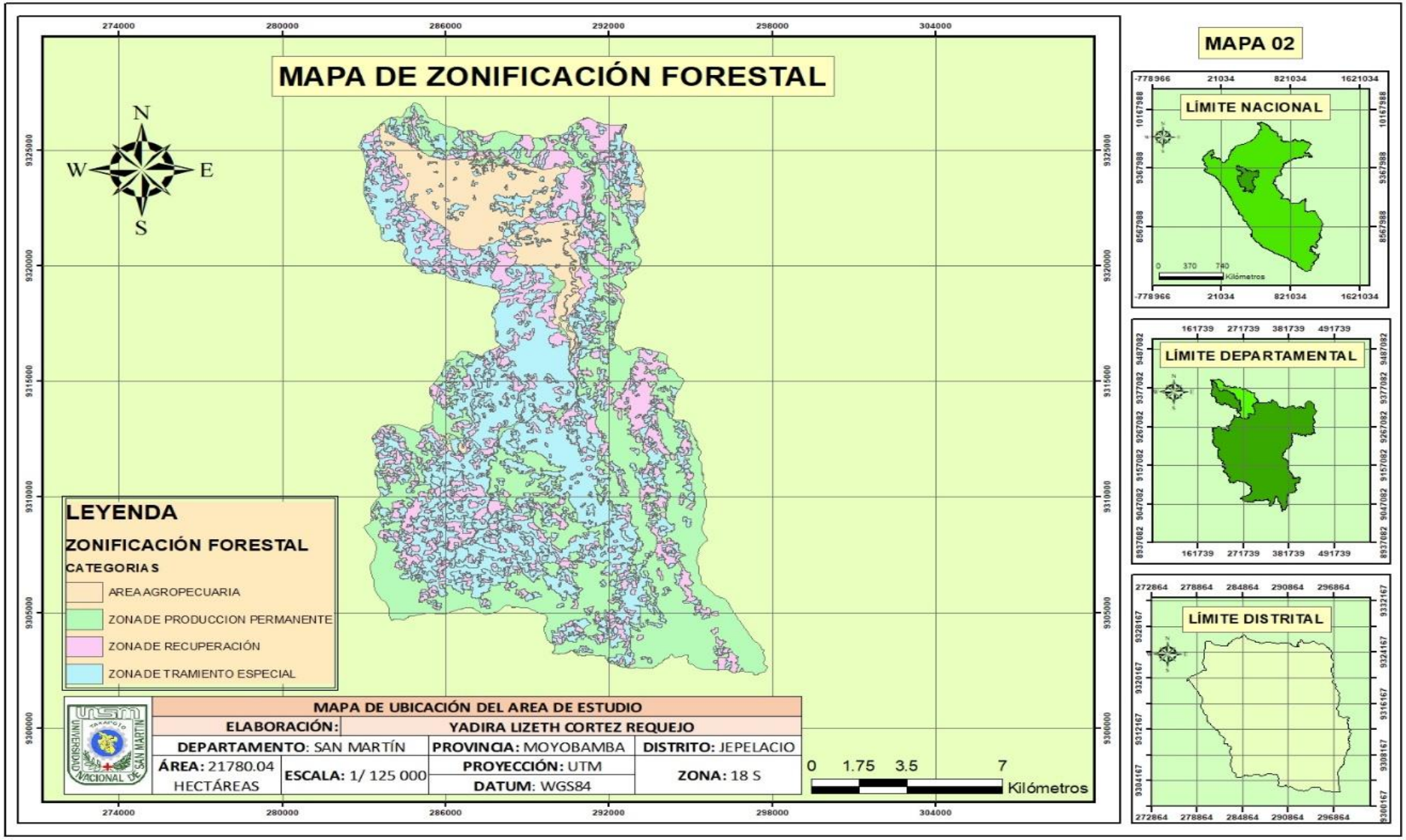
WASEEM, S., & KHAYYAM, U. Loss of vegetative cover and increased land surface temperature: A case study of Islamabad, Pakistan. Journal of Cleaner Production, 234, 972–983, 2019. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.228

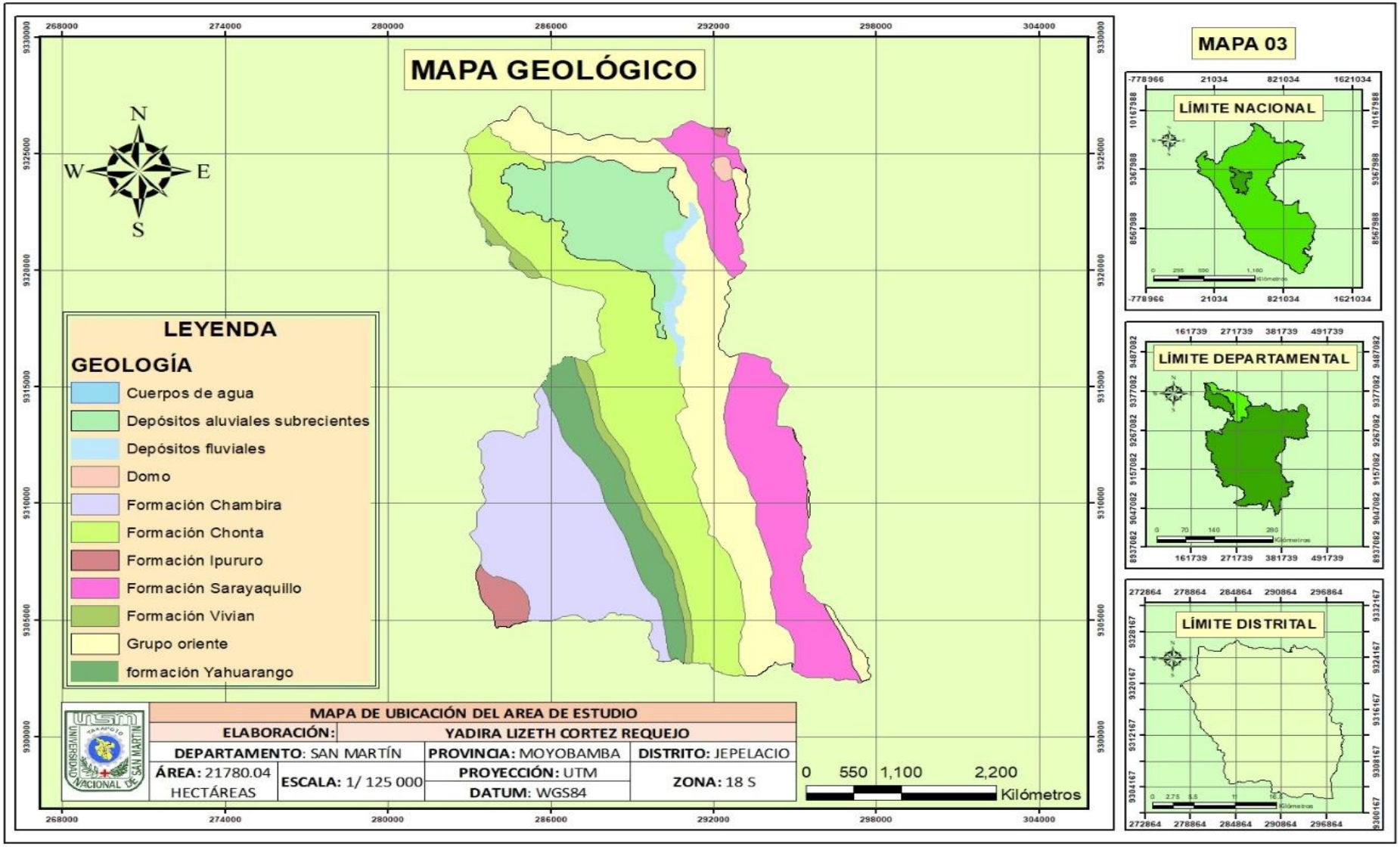
WATZ, T., & ERIKSSON, E. Different perspectives of deforestation in the Peruvian Amazon: An interview study based in Cusco and Pilcopata in the Cusco region. Diva. 2019, May 29. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1350223&dswid=-2740

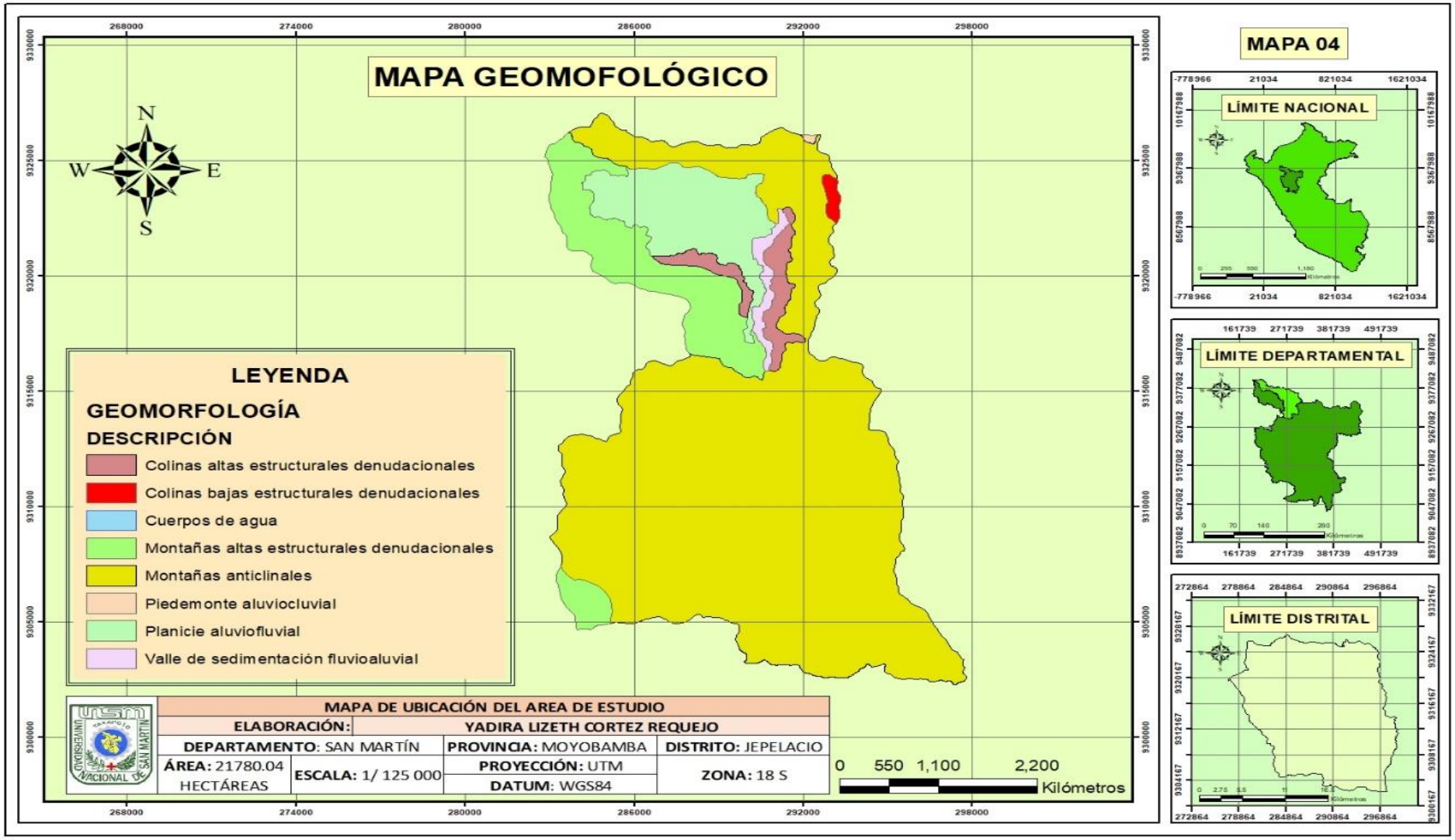
ANEXOS

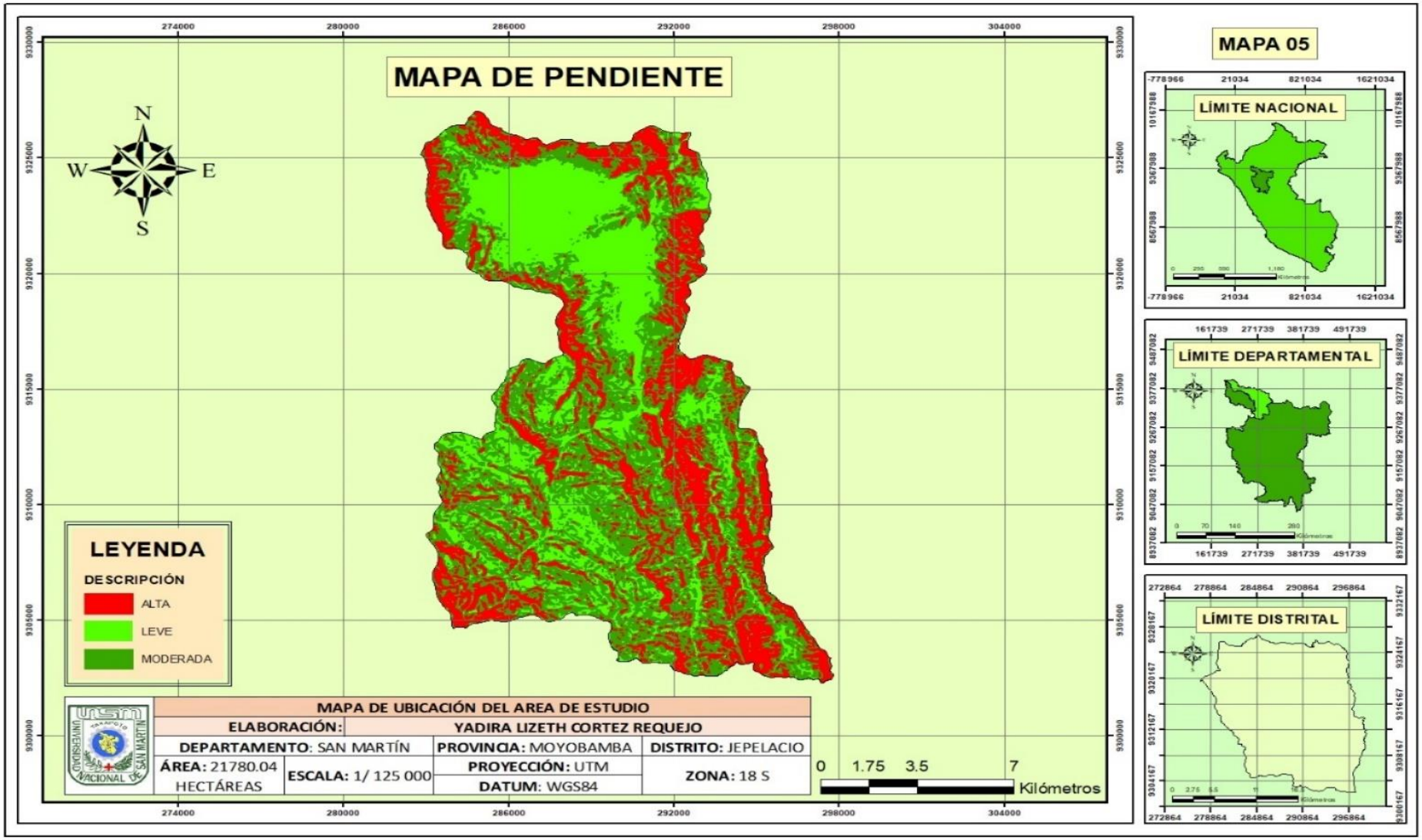
Anexo 1: Mapas

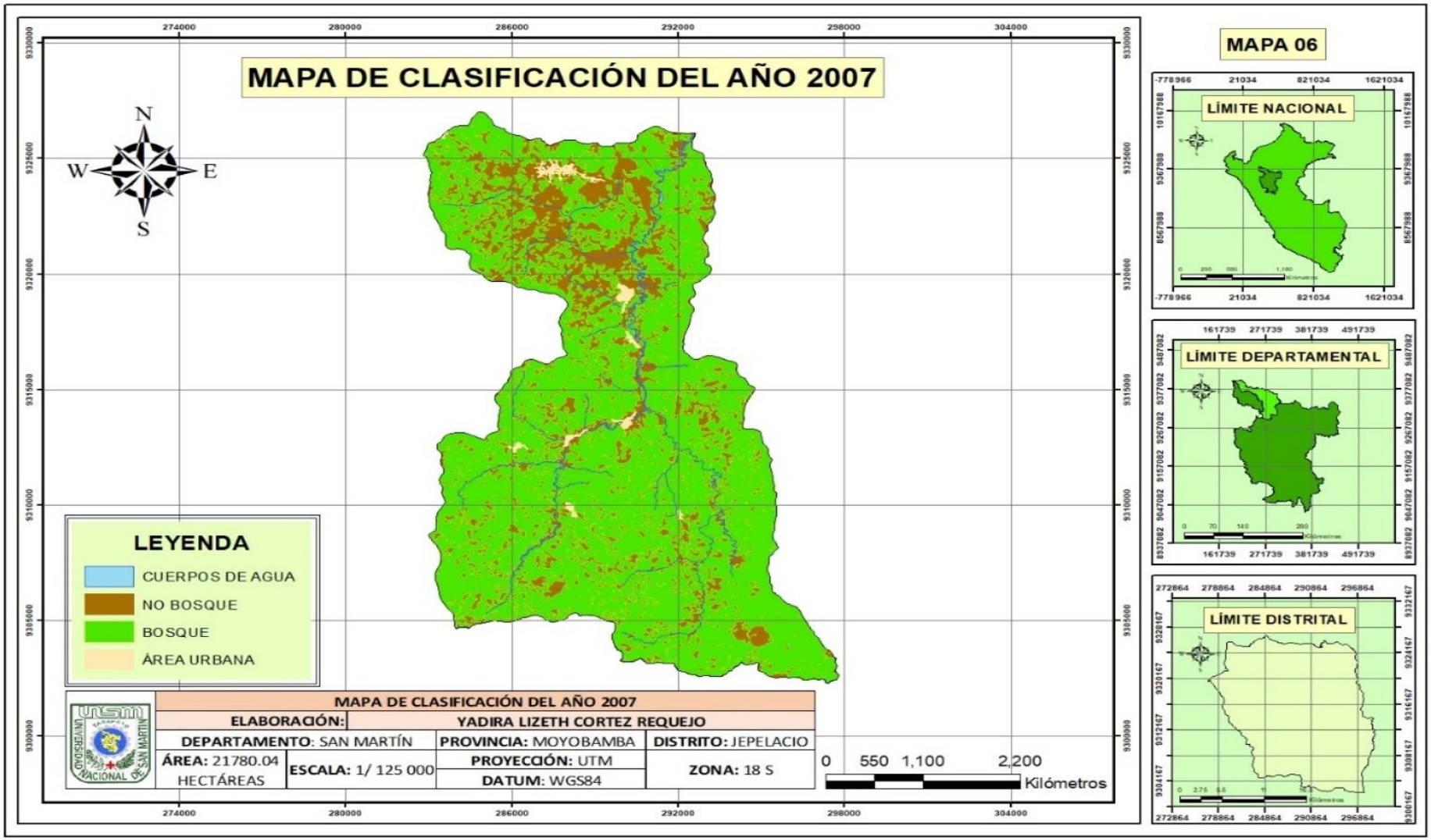
Mapa N° 1: Mapa de ubicación del área de estudio

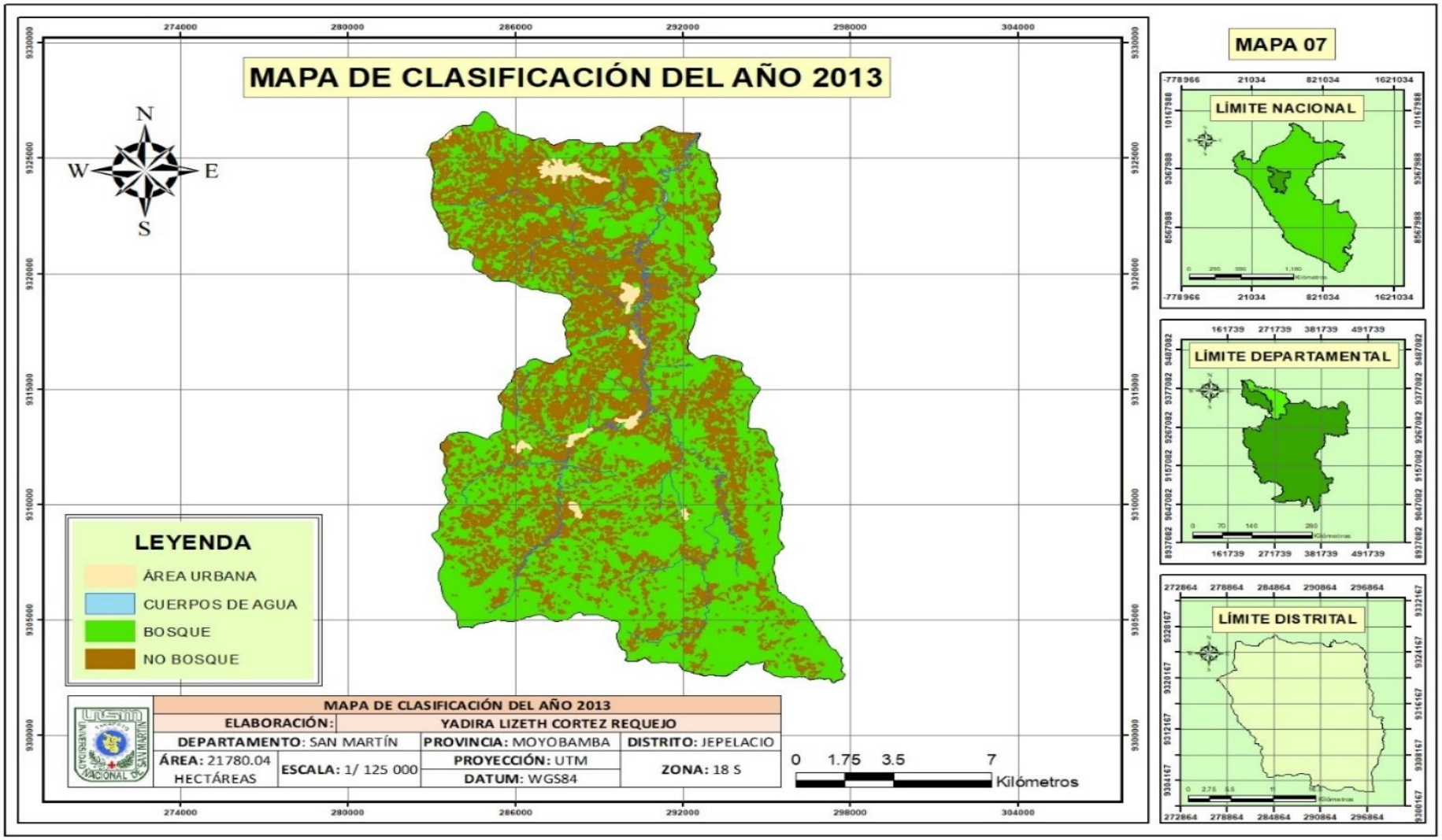

MAPA DE ZONIFICACIÓN FORESTAL
N
S
W
E
LEYENDA
ZONIFICACIÓN FORESTAL
CATEGORIAS
AREA AGROPECUARIA
ZONA DE PRODUCCION PERMANENTE
ZONA DE RECUPERACIÓN
ZONA DE TRAMIENTO ESPECIAL
MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 1.75 3.5 7
Kilómetros
MAPA 02
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL

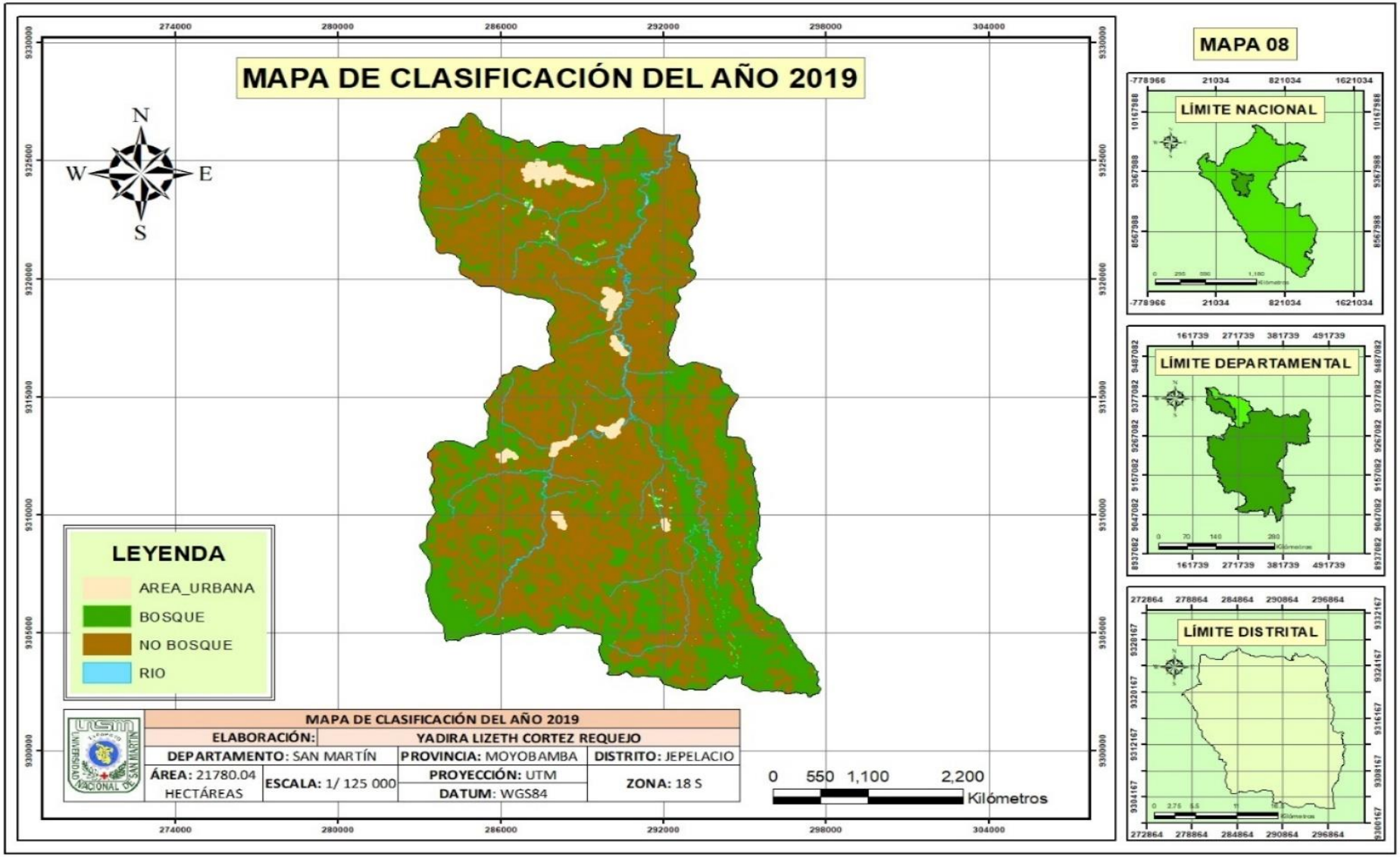

MAPA GEOLÓGICO
N
W
E
S
LEYENDA
GEOLOGÍA
Cuerpos de agua
Depósitos aluviales subrecientes
Depósitos fluviales
Domo
Formación Chambira
Formación Chonta
Formación Ipururo
Formación Sarayaquillo
Formación Vivian
Grupo oriente
formación Yahuarango
MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 550 1,100 2,200
Kilómetros
MAPA 03
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL


MAPA GEOMOFOLÓGICO
N
W
E
S
LEYENDA
GEOMORFOLOGÍA
DESCRIPCIÓN
Colinas altas estructurales denudacionales
Colinas bajas estructurales denudacionales
Cuerpos de agua
Montañas altas estructurales denudacionales
Montañas anticlinales
Piedemonte aluviocluvial
Planicie aluviofluvial
Valle de sedimentación fluvioaluvial
MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 550 1,100 2,200
Kilómetros
MAPA 04
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL


MAPA DE PENDIENTE
N
W
E
S
LEYENDA
DESCRIPCIÓN
ALTA
LEVE
MODERADA
MAPA DE UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 1.75 3.5 7
Kilómetros
MAPA 05
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL


MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL AÑO 2007
N
W
E
S
LEYENDA
CUERPOS DE AGUA
NO BOSQUE
BOSQUE
ÁREA URBANA
MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL AÑO 2007
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 550 1,100 2,200
Kilómetros
MAPA 06
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL


MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL AÑO 2013
N
W
E
S
LEYENDA
ÁREA URBANA
CUERPOS DE AGUA
BOSQUE
NO BOSQUE
MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL AÑO 2013
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 1.75 3.5 7
Kilómetros
MAPA 07
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL


MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL AÑO 2019
N
W
E
S
LEYENDA
AREA_URBANA
BOSQUE
NO BOSQUE
RIO
MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL AÑO 2019
ELABORACIÓN: YADIRA LIZETH CORTEZ REQUEJO
DEPARTAMENTO: SAN MARTÍN
PROVINCIA: MOYOBAMBA
DISTRITO: JEPELACIO
ÁREA: 21780.04 HECTÁREAS
ESCALA: 1/ 125 000
PROYECCIÓN: UTM
DATUM: WGS84
ZONA: 18 S
0 550 1,100 2,200
Kilómetros
MAPA 08
LÍMITE NACIONAL
LÍMITE DEPARTAMENTAL
LÍMITE DISTRITAL

Anexo 2:

Ficha de toma de puntos

N°	COORDENADAS		CLASIFICACIÓN	CAMPO	RESULTADO
	X	Y			
1	284121	9325758	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
2	284408	9325515	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
3	284607	9325333	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
4	284788	9325149	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
5	284947	9325007	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
6	285034	9325086	BOSQUE	BOSQUE	V
7	285116	9324917	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
8	285310	9324832	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
9	285562	9324716	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
10	285774	9324650	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
11	285816	9324559	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
12	286235	9324662	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
13	286616	9324614	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
14	287078	9324454	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
15	287216	9324455	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
16	287338	9324418	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
17	287604	9324618	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
18	287376	9323835	NO BOSQUE	ÁREA URBANA	F
19	287139	9322972	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
20	287242	9322310	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
21	287452	9321632	BOSQUE	NO BOSQUE	F
22	286688	9321836	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
23	285872	9320624	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
24	288322	9324405	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
25	289029	9324097	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
26	290194	9323397	NO BOSQUE	BOSQUE	F
27	290498	9322398	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
28	290947	9321904	RIO	RIO	V
29	290226	9321245	RIO	RIO	V
30	290309	9320577	RIO	RIO	V
31	290319	9319774	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
32	290235	9319252	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
33	290162	9319056	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
34	290118	9317467	BOSQUE	BOSQUE	V
35	290470	9317009	ÁREA URBANA	BOSQUE	F
36	290727	9316745	RIO	RIO	V
37	290560	9316229	RIO	RIO	V
38	290520	9315848	RIO	RIO	V
39	290466	9315679	NO BOSQUE	BOSQUE	F

40	290443	9315548	NO BOSQUE	BOSQUE	F
41	290689	9314843	BOSQUE	BOSQUE	V
42	290682	9314586	NO BOSQUE	BOSQUE	F
43	290646	9314263	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
44	290270	9313786	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
45	289003	9313409	NO BOSQUE	BOSQUE	F
46	289061	9313327	RIO	RIO	V
47	288069	9312979	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
48	287999	9312771	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
49	287996	9312693	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
50	287931	9312493	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
51	287933	9312433	RIO	RIO	V
52	287883	9312191	RIO	RIO	V
53	287827	9312034	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
54	287828	9312006	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
55	287834	9311833	NO BOSQUE	BOSQUE	F
56	287850	9311789	NO BOSQUE	BOSQUE	F
57	287917	9311746	NO BOSQUE	BOSQUE	F
58	287944	9311759	BOSQUE	BOSQUE	V
59	288032	9311554	NO BOSQUE	NO BOSQUE	V
60	287901	9311371	BOSQUE	BOSQUE	V
61	287831	9311279	BOSQUE	BOSQUE	V
62	287872	9311232	BOSQUE	BOSQUE	V
63	287894	9310943	BOSQUE	BOSQUE	V
64	287941	9310858	BOSQUE	BOSQUE	V
65	287852	9310813	BOSQUE	BOSQUE	V
66	287885	9310675	BOSQUE	BOSQUE	V
67	287940	9310405	BOSQUE	BOSQUE	V
68	287950	9310141	BOSQUE	BOSQUE	V
69	288001	9310016	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
70	288042	9309903	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
71	288117	9309856	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
72	288107	9309809	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
73	288158	9309768	ÁREA URBANA	ÁREA URBANA	V
74	288274	9308906	BOSQUE	BOSQUE	V
75	288305	9308735	BOSQUE	BOSQUE	V

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3:

Autorización para ingreso al área de estudio

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE JEPELACIO

Jirón 26 de octubre N°100-120 Jepelacio - Moyobamba - San Martin
Creado el 26 de octubre de 1921, Ley N° 4365

"Año de la Universalización de la Salud"

Jepelacio, 14 de agosto del 2020

OFICIO Nº 006 – 2020 – GDAMAyDEL/MDJ

PARA : **Srta. YADIRA LIZETH CORTÈZ REQUEJO**
Universitaria Tesista de la UNSM-T

DE : **Ing. LARRY O. SÁNCHEZ BARTURÉN**
GDAMAyDEL - MDJ

ASUNTO : Lo que se indica

Tengo al agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente en representación de la Municipalidad Distrital de Jepelacio (MDJ), y por medio de la Gerencia de Desarrollo Agropecuario, Medio Ambiente y Desarrollo Económico Local (GDAMAyDEL) responder a su CARTA N° 01-2020-UNSM-T/FE/UI-MOY (11/08/2020), en la cual "*Solicita Autorización para tener acceso al distrito de Jepelacio para realizar trabajo de Investigación*", al respecto debo indicarle que esta entidad, ni la Gerencia que represento están facultadas para "autorizar" o "desautorizar" el ingreso al distrito, dado que nuestra Constitución Política del Perú (29/12/1993) en su TÍTULO I: DE LA PERSONA Y DE LA SOCIEDAD y CAPÍTULO I: DERECHOS FUNDAMENTALES DE LA PERSONA, establece:

Artículo 2º. - Toda persona tiene derecho……

11. A elegir su lugar de residencia, ***a transitar por el territorio nacional*** *y a salir de él y entrar en él*, salvo limitaciones por razones de sanidad o por mandato judicial o por aplicación de la ley de extranjería.

Por lo indicado, resuelvo que esta entidad se da por comunicada acerca de las labores de investigación (proyecto de tesis: ***"Pérdida de cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la sub cuenca Gera, distrito de Jepelacio"***) que su persona viene realizando para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, según se observa en la Resolución Nº 272-2019-UNSM/CFT/FE (29/11/2019) alcanzada a resta Gerencia. Además, que las coordenadas UTM brindadas a esta Gerencia, corresponden a puntos próximos de vías de acceso público que conectan a las localidades, caseríos y/o sectores de: San Vicente, Huracán, Jepelacio, Potrerillo, Sector Codo, Shucshuyacu, Barranquita, El Oriente, Pacaypite, Nuevo San Miguel, Carrizal y Alto Carrizal.

Se pone de conocimiento a los pobladores aledaños a estos lugares, la realización de dicho trabajo de investigación, el cual básicamente consiste en la verificación de puntos con equipo GPS (georreferenciación), de esta manera se permita concluir el proyecto de investigación de la Tesista, dirigiéndole el presente documento para los fines que estime pertinente.

Sin otro particular, me despido con grato aprecio y consideración. Atentamente;

MUNICIPALIDAD DISTRITAL V° B° JEPELACIO

Ing. Larry O. Sánchez Barturén
GDAMAyDEL

Jirón 26 de octubre N°100-120 Jepelacio-Moyobamba - San Martin - RUC 20209294947
e-mail: munijepe1921@hotmail.com

Anexo 4:

Registro fotográfico

Fotografía 1. Deforestación en la parte baja de la cuenca. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 284947, Y: 9325007.

Fotografía 2. Toma de puntos en la categoría no bosque. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 289766, Y: 9319738.

Fotografía 3. Toma de puntos en la categoría no bosque. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 290319, Y: 9319774.

Fotografía 4. Toma de puntos en la categoría no bosque. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 290646, Y: 9314263.

Fotografía 5. Categoría de área urbana. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 290213, Y: 9319243.

Fotografía 6. Equipo técnico de investigación. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 287827, Y: 9312034.

Fotografía 7. Evaluación en la categoría bosque. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 287834, Y: 9311833.

Fotografía 8. Evaluación en la categoría bosque. Autor: Yadira Lizeth Cortez Requejo. Coordenadas; X: 287850, Y: 9311789.

Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio

por Yadira Lizeth Cortez Requejo

Fecha de entrega: 23-ago-2022 08:56a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1885947340
Nombre del archivo: ING._AMBIENTAL_-_Yadira_Lizeth_Cortez_Requejo.docx (12.46M)
Total de palabras: 16581
Total de caracteres: 88646

Pérdida de la cobertura vegetal mediante el uso de imágenes satelitales en la subcuenca Gera, distrito de Jepelacio

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	1%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	vsip.info Fuente de Internet	4%
2	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	siar.regionsanmartin.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	evolibro.webnode.es Fuente de Internet	<1%
9	portal.unas.edu.pe Fuente de Internet	