

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES MEDIANTE IMÁGENES  
SATELITALES Y FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL DISTRITO DE  
HUEPETUHE, MADRE DE DIOS, PERIODO 2015 - 2024**

**PRESENTADA POR:**

**MARILIN ANAI RIOS TEVES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2025**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



3.07%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 9 JUN 2025, 10:03 AM

### Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
0.87%

● CHANGED TEXT  
2.2%

## Report #26878361

MARILIN ANAI RIOS TEVES // ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES Y FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL DISTRITO DE HUEPETUHE, MADRE DE DIOS, PERIODO 2015 - 2024 RESUMEN El estudio se realizó con el objetivo de analizar la extinción de bosques mediante imágenes satelitales y la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. La metodología es cuantitativa y no experimental, haciendo uso de las herramientas RStudio y QGIS. Las fotografías satelitales de LandSat-8 fueron capturadas a través de Google Earth Engine, empleando el lenguaje JavaScript. La clasificación supervisada se llevó a cabo a través del modelo Árboles de Clasificación y Regresión (CART), para identificar las áreas (1) Bosques, (2) Suelos deforestados, y (3) Agua, para el índice de fragmentación del paisaje se desarrolló en el software RStudio con la librería 'LandscapeMetrics'. Resultados la extensión de bosques en el periodo 2015 en el distrito era de 1,398.593 km<sup>2</sup>, pero para el 2024 esta cifra se redujo a 1,216.642 km<sup>2</sup>, con el 71.4 % de la variabilidad con la disminución de su área a lo largo del tiempo, por el otro lado el índice de fragmentación en el tamaño promedio de los parches (MPS), con un valor medio de 169.12 m<sup>2</sup>, La densidad del borde (ED) alcanza un promedio de 17.224 m<sup>2</sup>, el índice de aislamiento (AI) permanece relativamente constante en 98.44 %, el número de parches (NP) muestra un promedio de 897

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**  
**ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES MEDIANTE IMÁGENES**  
**SATELITALES Y FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL DISTRITO DE**  
**HUEPETUHE, MADRE DE DIOS, PERIODO 2015 - 2024**  
**PRESENTADA POR:**  
**MARILIN ANAI RIOS TEVES**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

  
Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

PRIMER MIEMBRO

:

  
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

SEGUNDO MIEMBRO

:

  
M.Sc. FREDY APARICIO CASTILLO SUAQUITA

ASESOR DE TESIS

:

  
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOZQUETA

Área: Ingeniería, Tecnología.

Sub área: Ingeniería Ambiental.

Línea de investigación: Sensores remotos.

Puno, 13 de junio del 2025.

## DEDICATORIA

A Dios, quien con su amor infinito y sabiduría inagotable ha guiado cada uno de mis pasos, le ofrezco este trabajo con humildad y gratitud profunda. Sin su presencia en mi vida, este logro no habría sido posible, pues en Él encuentro inspiración constante y refugio en los momentos de duda y dificultad.

A mi madre, cuyo amor inquebrantable y sacrificios ha sido el pilar sobre el cual he construido mis sueños. Con paciencia y dedicación, me ha enseñado que el esfuerzo y la constancia son la clave del éxito. Su apoyo incondicional y sus palabras de aliento han sido mi mayor fortaleza, por lo que este logro también le pertenece a ella, ya que todo lo que he alcanzado es gracias a su amor y guía.

A mis amigos, compañeros invaluable en este camino, les dedico estas páginas con aprecio sincero. Su compañía ha sido un bálsamo en los momentos difíciles, y su confianza en mí, un impulso para seguir adelante. Gracias por compartir alegrías, por brindarme su apoyo en los días más retadores y por demostrarme que la amistad verdadera es un tesoro que da luz y significado a la vida.

***Marilyn Anai Ríos Teves***

## AGRADECIMIENTOS

- A Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, le expreso mi gratitud por iluminar mi camino y brindarme la perseverancia y el coraje para alcanzar esta meta. Su orientación y bendición han sido esenciales en cada fase de este procedimiento
- A mi madre, cuyo amor constante, dedicación y respaldo han sido el cimiento de mis éxitos. Su esfuerzo constante me ha inspirado a seguir adelante con determinación y a luchar por mis sueños.
- A la **Universidad Privada San Carlos**, a la **Facultad de Ingenierías** y a la **Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**, por proporcionar una formación académica de calidad y las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional, contribuyendo a mi crecimiento tanto intelectual como personal.
- A mi asesora **Mg. Elvira Anani Durand Goyzueta**, por su orientación y paciencia a lo largo de este trabajo, guiándome con su experiencia y conocimientos. Sus valiosos consejos han sido esenciales para la culminación de esta investigación.
- A mis jurados, por su tiempo, dedicación y criterio en la evaluación de este esfuerzo. Sus observaciones y aportes han enriquecido significativamente este estudio, permitiéndome mejorar y consolidar mis aprendizajes.

***Marilin Anai Rios Teves***

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>14</b>
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
<b>1.2. ANTECEDENTES</b>	<b>16</b>
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	16
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES	18
1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES	19
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>20</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

<b>2.1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>22</b>
2.1.1. CAMBIO DE USO DE SUELO	22
2.1.2. DEFORESTACIÓN	23
2.1.3. FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE	24
2.1.4. ECOLOGÍA DEL PAISAJE	25
2.1.5. MÉTRICAS DE PATRONES DEL PAISAJE	26
2.1.6. TELEDETECCIÓN Y SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	26
2.1.7. IMÁGENES SATELITALES LANDSAT-8	27
2.1.8. SENSORES REMOTOS	28
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>29</b>
<b>2.3. MARCO NORMATIVO</b>	<b>30</b>
<b>2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>31</b>
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	31
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	31

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

<b>3.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>32</b>
<b>3.2. TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>33</b>
3.2.1. POBLACIÓN	33
3.2.2 MUESTRA	33
<b>3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>33</b>
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>41</b>
<b>3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO</b>	<b>42</b>

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

<b>4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES EN EL DISTRITO DE HUEPETUHE MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024.</b>	<b>46</b>
<b>4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL DISTRITO DE HUEPETUHE DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024.</b>	<b>58</b>
<b>4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES EN LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024.</b>	<b>64</b>
<b>4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>68</b>
4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.	68
4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.	69
4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.	73
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>Tabla 01:</b> Bandas del satélite LandSat-8.	28
<b>Tabla 02:</b> Interpretación de Kappa.	36
<b>Tabla 03:</b> Interpretación del Índice de Shannon (SHDI).	39
<b>Tabla 04:</b> Interpretación del Índice de Simpson (SIDI).	40
<b>Tabla 05:</b> Operacionalidad de Variables.	42
<b>Tabla 06:</b> Grado de correlación.	44
<b>Tabla 07:</b> Resultados de cambios de las coberturas terrestres del distrito de Huepetuhe.	47
<b>Tabla 08:</b> Estadística descriptiva de cambios de las coberturas terrestres.	50
<b>Tabla 09:</b> Resultado de la matriz de confusión de los periodos 2015 y 2024.	53
<b>Tabla 10:</b> Resultado Kappa y Accuracy de los periodos 2015 y 2024.	54
<b>Tabla 11:</b> Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de las coberturas terrestres.	57
<b>Tabla 12:</b> Resultados del índice de fragmentación y biodiversidad.	59
<b>Tabla 14:</b> Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del índice de biodiversidad.	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 01:</b> Cambio de uso de suelo.	22
<b>Figura 02:</b> Deforestación.	23
<b>Figura 03:</b> Fragmentación y pérdida del paisaje.	24
<b>Figura 04:</b> Fragmentación del paisaje.	25
<b>Figura 05:</b> Mapa de ubicación del distrito de Huepetuhe.	32
<b>Figura 06:</b> Gráfico de la Distribución t.	45
<b>Figura 07:</b> Pérdida de la cobertura terrestre del distrito de Huepetuhe.	48
<b>Figura 08:</b> Regresión de las coberturas terrestres con respecto a los periodos.	52
<b>Figura 09:</b> Mapa de coberturas del distrito de Huepetuhe 2015.	55
<b>Figura 10:</b> Mapa de coberturas del distrito de Huepetuhe 2020.	56
<b>Figura 11:</b> Mapa de coberturas del distrito de Huepetuhe 2024.	56
<b>Figura 12:</b> Gráfico boxplot del índice de fragmentación del distrito de Huepetuhe.	61
<b>Figura 13:</b> Gráfico boxplot del índice de biodiversidad del distrito de Huepetuhe.	62
<b>Figura 14:</b> Regresión lineal simple del índice de fragmentación sobre bosques.	65
<b>Figura 15:</b> Regresión lineal simple del índice de biodiversidad sobre bosques.	66
<b>Figura 16:</b> Correlación de bosques sobre los índices de fragmentación y biodiversidad, mediante Pearson.	67
<b>Figura 17:</b> Distribución de t-test de bosques sobre los periodos.	69
<b>Figura 18:</b> Distribución de t-test de MPS sobre los periodos.	70
<b>Figura 19:</b> Distribución de t-test de ED sobre los periodos.	71
<b>Figura 20:</b> Distribución de t-test de AI sobre los periodos.	72
<b>Figura 21:</b> Distribución de t-test de NP sobre los periodos.	73
<b>Figura 22:</b> Distribución de t-test de bosques sobre MPS.	74
<b>Figura 23:</b> Distribución de t-test de bosques sobre ED.	75

<b>Figura 24:</b> Distribución de t-test de bosques sobre AI.	76
<b>Figura 25:</b> Distribución de t-test de bosques sobre NP.	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia.	90
<b>Anexo 02:</b> Descarga de imágenes satelitales de Google Earth Engine.	92
<b>Anexo 03:</b> Importación de las imágenes satelitales a RStudio.	93
<b>Anexo 04:</b> Importación de las muestras de entrenamiento a RStudio.	94
<b>Anexo 05:</b> Firma espectral de las imágenes LandSat-8 en RStudio.	95
<b>Anexo 06:</b> Firma espectral de las imágenes LandSat-8 en RStudio.	96
<b>Anexo 07:</b> Modelo CART en RStudio.	97
<b>Anexo 08:</b> Gráficos estadísticos en RStudio.	98
<b>Anexo 09:</b> Índices espectrales calculados en RStudio.	99
<b>Anexo 10:</b> Firmas espectrales calculados en RStudio.	102
<b>Anexo 11:</b> Árbol de decisión del modelo CART calculados en RStudio	105
<b>Anexo 12:</b> Matriz de confusión calculados en RStudio.	110
<b>Anexo 13:</b> Áreas de las clases calculadas en RStudio.	115
<b>Anexo 14:</b> Script de python para la elaboración del gráfico de t-test.	119
<b>Anexo 15:</b> Mapas de cobertura del distrito de Huepetuhe elaborado en RStudio.	120
<b>Anexo 16:</b> Panel fotográfico.	124

## RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de analizar la extinción de bosques mediante imágenes satelitales y la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios. La metodología es cuantitativa y no experimental, haciendo uso de las herramientas RStudio y QGIS. Las fotografías satelitales de LandSat-8 fueron capturadas a través de Google Earth Engine, empleando el lenguaje JavaScript. La clasificación supervisada se llevó a cabo a través del modelo Árboles de Clasificación y Regresión (CART), para identificar las áreas (1) Bosques, (2) Suelos deforestados, y (3) Agua, para el índice de fragmentación del paisaje se desarrolló en el software RStudio con la librería '*LandscapeMetrics*'. Resultados la extensión de bosques en el periodo 2015 en el distrito era de 1,398.593 km<sup>2</sup>, pero para el 2024 esta cifra se redujo a 1,216.642 km<sup>2</sup>, con el 71.4 % de la variabilidad con la disminución de su área a lo largo del tiempo, por el otro lado el índice de fragmentación en el tamaño promedio de los parches (MPS), con un valor medio de 169.12 m<sup>2</sup>, La densidad del borde (ED) alcanza un promedio de 17.224 m<sup>2</sup>, el índice de aislamiento (AI) permanece relativamente constante en 98.44 %, el número de parches (NP) muestra un promedio de 897 proporciones, los valores indican mayor fragmentación del paisaje, también mediante la prueba t el *p-valor* = 0.004259 que es menor que el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , lo que sugiere que la reducción del área boscosa está asociada con un aumento en la fragmentación. Conclusión: Se observa una disminución en la cobertura de bosques, lo que ha agudizado la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, a pesar de que la correlación entre ambos elementos no es completamente lineal. Sin embargo, la correlación entre ambos factores no es completamente lineal, se evidencia una disminución en el tamaño de los fragmentos de bosque y un mayor aislamiento entre ellos.

**Palabras claves:** Bosques, Deforestación, Fragmentación, Imágenes satelitales, Paisaje.

## ABSTRACT

The study was conducted to analyze forest deforestation and landscape fragmentation using satellite imagery in the Huepetuhe district, Madre de Dios. The methodology is quantitative and non-experimental, using RStudio and QGIS tools. LandSat-8 satellite photographs were captured through Google Earth Engine, using JavaScript. Supervised classification was carried out through the Classification and Regression Trees (CART) model, to identify the areas (1) Forests, (2) Deforested Soils, and (3) Water, for the landscape fragmentation index was developed in RStudio software with the 'LandscapeMetrics' library. Results the extension of forests in the period 2015 in the district was 1,398,593 km<sup>2</sup>, but by 2024 this figure was reduced to 1,216,642 km<sup>2</sup>, with 71.4 % of the variability with the decrease in its area over time, on the other hand the fragmentation index in the average size of the patches (MPS), with an average value of 169.12 m<sup>2</sup>, The edge density (ED) reaches an average of 17,224 m<sup>2</sup>, the isolation index (AI) remains relatively constant at 98.44 %, the number of patches (NP) shows an average of 897 proportions, the values indicate greater fragmentation of the landscape, also by t test the p-value = 0.004259 which is lower than the significance level  $\alpha = 0.05$ , suggesting that the reduction of the forested area is associated with an increase in Fragmentation. Conclusion: A decrease in forest cover has been observed, which has exacerbated landscape fragmentation in the Huepetuhe district, although the correlation between the two elements is not entirely linear. However, the correlation between the two factors is not entirely linear; a decrease in the size of forest fragments and greater isolation between them is evident.

**Keywords:** Forests, Deforestation, Fragmentation, Satellite images, Landscape.

## INTRODUCCIÓN

El deterioro de los bosques constituye una grave amenaza para el medio ambiente, impactando tanto en la estructura como en el funcionamiento del paisaje. Sus consecuencias impactan negativamente la biodiversidad, los ciclos del agua y el equilibrio climático. En el distrito de Huepetuhe, situado en la región de Madre de Dios, la deforestación ha avanzado rápidamente debido a actividades extractivas, el crecimiento agrícola y la expansión de asentamientos humanos, provocando una transformación acelerada del entorno. La falta de un monitoreo efectivo puede agravar esta circunstancia, fomentando la fragmentación del paisaje y reduciendo la vinculación entre los fragmentos de bosques, amenazando así la estabilidad ecológica, este proceso no solo disminuye el tamaño de los hábitats naturales, sino que también contribuye al aislamiento de especies, afectando su supervivencia y alterando los procesos ecológicos fundamentales (Manríquez, 2019).

El uso de imágenes satelitales se ha convertido en una herramienta fundamental para monitorear la reducción de la cobertura forestal y su impacto en la fragmentación del paisaje. No obstante, en el caso de Huepetuhe, la ausencia de estudios detallados que analicen la relación entre la deforestación y la fragmentación limita la comprensión del problema y dificulta la implementación de estrategias fundamentadas en datos. Es crucial examinar la evolución de la cobertura boscosa en los últimos años, identificar tendencias en la fragmentación y evaluar cómo la disminución de los bosques afecta la conectividad ecológica. Este enfoque contribuirá al desarrollo de medidas de conservación y restauración más eficaces, promoviendo un manejo sostenible del territorio para reducir los efectos negativos de la deforestación (Mendoza, 2020).

Además de la disminución de la cobertura forestal y la fragmentación del paisaje, el distrito de Huepetuhe enfrenta diversos factores que agravan su crisis ambiental. La expansión de actividades extractivas, como la minería ilegal, no solo acelera la pérdida de

bosques, sino que también contamina suelos y fuentes hídricas, afectando tanto la biodiversidad como el bienestar de las comunidades locales. La falta de una regulación efectiva y la escasa aplicación de medidas de control han permitido que la degradación ambiental avance sin restricciones, poniendo en riesgo el equilibrio ecológico a largo plazo. Asimismo, la carencia de opciones económicas sostenibles para la población ha incrementado la presión sobre los recursos forestales, aumentando la vulnerabilidad de las áreas boscosas que aún permanecen en la región (Nogué, 2019).

La reducción de la cobertura boscosa representa la variable independiente (VI) que influye en la transformación del paisaje, dando lugar a la fragmentación, que actúa como la variable dependiente (VD). Conforme los bosques disminuyen, las áreas de vegetación se tornan más reducidas y dispersas, afectando la conectividad entre los ecosistemas y comprometiendo su estabilidad. Este fenómeno impacta la distribución de las especies, altera los procesos ecológicos y acelera la degradación ambiental, demostrando una correlación directa entre la deforestación y la fragmentación del paisaje.

Este estudio se organiza en cuatro capítulos esenciales. El Capítulo I expone el problema de investigación, junto con los antecedentes y los objetivos que orientan el trabajo. En el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico, donde se presentan los conceptos clave y se plantea la hipótesis. El Capítulo III describe la metodología aplicada, detallando el diseño de la investigación, las técnicas de recopilación de datos y los modelos empleados para el análisis. Finalmente, el Capítulo IV abarca la presentación y el análisis de los resultados obtenidos, permitiendo interpretar con precisión los hallazgos respecto a la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La deforestación y la fragmentación del paisaje son cuestiones ambientales de gran preocupación a nivel mundial, ya que tienen un impacto significativo en la biodiversidad, el cambio climático y la integridad de los ecosistemas. Según cifras de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), anualmente se deforestan cerca de 10 millones de hectáreas, principalmente en las zonas tropicales, este fenómeno contribuye significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero, representando aproximadamente un 20% de las emisiones globales de dióxido de carbono, exacerbando así el calentamiento global. Además, la fragmentación de los paisajes forestales provoca la pérdida de hábitats críticos, lo que reduce la capacidad de los ecosistemas para recuperarse y pone en riesgo a las especies que requieren grandes extensiones continuas de bosque para su supervivencia (Lara, 2024).

Perú se destaca por ser uno de los países con mayor biodiversidad a nivel mundial, contando con extensas áreas de cobertura forestal, particularmente en la región amazónica. Sin embargo, la deforestación es un problema creciente en el país. Según el Ministerio del Ambiente (MINAM) de Perú, el país perdió alrededor de 1,1 millones de hectáreas de bosque entre 2015 y 2020. Las razones principales de esta deforestación abarcan el crecimiento de la agricultura, la minería ilícita, la tala ilegal y la edificación de

infraestructura, la región de Madre de Dios, conocida por su rica biodiversidad, ha sido gravemente afectada por la minería ilegal, lo que no solo ha provocado la pérdida de bosques, sino también la contaminación de ríos y suelos con mercurio, dañando tanto la salud humana como la de los ecosistemas. Asimismo, la fragmentación de los paisajes forestales en Perú afecta la conectividad de los ecosistemas, lo que dificulta el desplazamiento de la fauna silvestre y compromete procesos ecológicos esenciales (Dourojeanni, 2023).

El distrito de Huepetuhe, situado en la región de Madre de Dios, ha sido una de las áreas más afectadas por la deforestación y la fragmentación del paisaje. La zona es conocida por su intensa actividad minera, especialmente la minería artesanal y a pequeña escala de oro, que ha transformado extensas áreas de bosque en paisajes fragmentados con áreas deforestadas y explotadas por la minería. Durante el periodo 2015-2024, Huepetuhe ha visto una preocupante disminución de su cobertura forestal debido a estas actividades, lo que ha tenido efectos devastadores en la biodiversidad local, la calidad del agua y el bienestar de las comunidades indígenas y rurales. La pérdida de bosques y la fragmentación del paisaje en Huepetuhe no solo afectan los servicios ecosistémicos, como la regulación del clima y la absorción de carbono, sino que también intensifican los conflictos sociales y económicos en la región (Cerón et al., 2021).

#### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo es la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024?

#### **1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuanto es la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024?
- ¿Cuanto es la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024?

- ¿De qué manera la pérdida de bosques influye en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024?

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Calderon & Benavides (2022), en la Cordillera Occidental de Antioquia, Colombia, analizaron la deforestación y la fragmentación en las zonas con mayor biodiversidad durante el periodo de 2003 a 2014, los resultados revelan que la deforestación es de (162,37 km<sup>2</sup>) y la fragmentación (> 90 %) en el Corredor del Oso de Antioquia (COA) en los últimos 19 años se han concentrado principalmente en las áreas con mayor biodiversidad, tanto dentro como fuera de las áreas protegidas (AP). Aunque las AP cubren el 30% del total del COA, las zonas de mayor riqueza biológica representan menos del 17% de estas áreas. Estos hallazgos subrayan el riesgo de pérdida de biodiversidad y la urgente necesidad de fortalecer las áreas protegidas existentes y de establecer nuevas zonas con alta biodiversidad.

Arévalo et al. (2023), En la cuenca del río Mira, Ecuador, estudiaron los patrones espaciales del paisaje forestal y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* (Boulenger, 1986). Para ello, emplearon mapas temáticos de uso y cobertura del suelo derivados de imágenes Landsat de 1991, 2000 y 2017, además de métricas concretas para valorar el paisaje forestal. Además, se realizó un estudio sobre la posible distribución de *D. elegans* utilizando el modelo de máxima entropía (MaxEnt). Los descubrimientos mostraron una disminución forestal de 235.726,96 hectáreas (10,28%) con una tasa anual de deforestación del 0,44%. Además, se registró un incremento en la cantidad de parches (desde 1.249 hasta 1.741) y su densidad (desde 0,23 hasta 0,33), lo que señala una fragmentación más amplia del bosque autóctono a causa de la expansión agrícola y la deforestación. *D. elegans* predomina en la cuenca media del río Mira, zona que preserva bosques autóctonos y otras especies vegetales en un total de 104.747 hectáreas (19,6%).

Según el modelo de distribución, la pérdida de hábitat para *D. elegans* alcanzó las 33.859,33 hectáreas (32,32%), lo que demuestra la susceptibilidad de la especie ante la disminución del tamaño de los parches, los efectos de borde y el aislamiento del hábitat.

Rodríguez & Leiton (2021), en la cuenca del río Mira, Ecuador, analizaron los cambios en el espacio y el tiempo en los ecosistemas boscosos nativos y cómo estos cambios afectan la diversidad de hábitats entre 1991 y 2017. Se observó una disminución del 9% en los ecosistemas forestales autóctonos, con un índice de deforestación del 0,57% anual, principalmente debido al crecimiento de las actividades agrícolas. Los ecosistemas de bosque seco espinoso, bosque seco interandino, bosque seco montano bajo y bosque muy húmedo premontano experimentaron la mayor disminución de bosques autóctonos. Las modificaciones en los patrones espaciales de los ecosistemas forestales evidenciaron una fragmentación considerable. El índice de diversidad de Shannon se redujo en 0,20, lo que señala una disminución en la variedad de hábitats boscosos autóctonos a causa de la pérdida y fragmentación de los ecosistemas estudiados.

Ortega & Arias (2022), en la cuenca del río Cayapas, Ecuador, analizaron de los efectos del cambio en el uso del suelo en el paisaje del bosque húmedo para el año 2022 en la cuenca del río Cayapas, Ecuador, se realizó proyectando el uso del suelo para 2022 con el software TERRSET, utilizando las coberturas de uso del suelo de 1982 y 2002 como base. Los efectos en el paisaje se evaluaron a través de índices como el área total, el índice del parche más grande, el número de parches y la densidad del borde. Los resultados indicaron que el bosque nativo perdió un 27,53% entre 1982 y 2002, y para 2022, presentó una regeneración natural del 2,7%. Esta transición resultó en una fragmentación del bosque húmedo, evidenciada por el aumento en el número de parches de 3 a 1.276 entre 1982 y 2022.

## 1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Mendoza & Rupa (2022), en el distrito de San Jerónimo, Cusco, analizaron la pérdida de cobertura vegetal causada por incendios forestales durante el periodo 2019-2021. La investigación, de carácter no experimental, identificó y cuantificó las áreas afectadas por incendios utilizando teledetección con imágenes satelitales del sensor Sentinel 2A, procesadas en ArcMap 10.8. Para evaluar la pérdida de cobertura vegetal, se emplearon los índices Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Las áreas quemadas en 2019, 2020 y 2021 fueron de 500,07 ha, 117 ha y 1.397,22 ha, respectivamente, siendo 2021 el año con la mayor pérdida de cobertura vegetal, representando un 18,44% del área afectada por incendios forestales.

De Los Ríos (2022), en el sector La Merced, Ucayali, evaluó la pérdida de cobertura boscosa debido a la expansión de cultivos de palma aceitera entre 2005 y 2020. Se aplicó el método Corine Land Cover modificado para Perú, en conjunto con el Mapa Nacional de Cobertura Vegetal, para categorizar y reunir tres tipos de cobertura: bosques (bosque de terraza alta, bosque de llanura meándrica y bosque inundable de palmeras-aguajal), zonas agrícolas y palma aceitera. Los hallazgos señalan una considerable disminución del bosque de terraza alta debido al crecimiento de los cultivos de palma aceitera y a prácticas agrícolas incorrectas, en el periodo 2005-2013, se observó una pérdida del 33,54% con una tasa de deforestación de 476,55 ha/año. Entre 2013 y 2020, la pérdida alcanzó el 50,19% con una tasa de deforestación de 546,83 ha/año. Se sugiere implementar un plan de acción para reducir la deforestación.

Janampa & Ponce (2023), en el distrito de Pangoa, Junín, analizaron la multitemporalidad de la deforestación en el distrito de Pangoa, Junín, desde el año 2000 hasta 2020, y la estimación de la deforestación proyectada para 2030, revela un incremento significativo en la pérdida de cobertura forestal. Entre 2000 y 2004, se deforestaron 280,61 hectáreas;

entre 2004 y 2007, 475,96 hectáreas; entre 2007 y 2011, 1.184,69 hectáreas; entre 2011 y 2016, 982,42 hectáreas; y entre 2016 y 2020, 316,34 hectáreas, sumando un total de 3.240,03 hectáreas de deforestación entre 2000 y 2020. El aumento en la deforestación se atribuye al desarrollo de infraestructura y actividades agrícolas en la región.

Arana (2022), en el distrito Fernando Lores, Loreto, evaluó la pérdida de cobertura boscosa y el uso actual del suelo entre 2012 y 2018, utilizando métodos analíticos, descriptivos y comparativos. El método utilizó endmembers de vegetación fotosintética, vegetación no fotosintética, sombra, suelo y nube, además del índice de vegetación de diferencia de fracciones (NDFI) en la maquinaria de Google Earth (GEE). La evaluación se llevó a cabo durante siete años, categorizándose en cuatro categorías: cuerpos de agua (18.656,2 ha), vegetación secundaria (3.576,6 ha), bosques (431.548,1 ha) y una pérdida total de bosques de 12.367,2 ha en el distrito de Fernando Lores. El análisis de los mapas evidenció una exactitud global del 86,78% y un coeficiente de 0,82. En 2013, se registró una disminución de más de 2.000 há cerca de Tamshiyacu a causa de la deforestación provocada por Tamshi S.A.C., lo que condujo a la desaparición de importantes especies de flora y fauna como el palo de rosa, la sachavaca, la huangana y el sajino.

### **1.2.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Nalvarte & Mamani (2022), en la microcuenca del río Manuripe - Madre de Dios, analizaron el cambio espacial y temporal en el uso del suelo en concesiones de castaña entre 2004 y 2020. Para clasificar y cuantificar la cobertura y uso del suelo, así como la pérdida de bosque, se emplearon técnicas de teledetección con imágenes Landsat-5 TM, Landsat-7 ETM+ y Landsat-8 OLI. Las imágenes fueron procesadas utilizando el algoritmo de clasificación supervisada Random Forest. Se aplicaron técnicas de validación de clasificación mediante puntos de verificación en campo y con imágenes de alta resolución (PlanetScope y WorldView). Los resultados revelan una pérdida de

cobertura forestal de 9.435,12 ha entre 2004 y 2020, con una tasa anual de deforestación del 0,046% y una pérdida promedio de 160,11 ha/año. La conversión de bosque a otros usos de suelo durante este período fue de 4.681,36 ha, con la agricultura como principal causa del cambio.

Huacac (2022), en la Microcuenca del río Pariamanu, Madre de Dios, analizó la deforestación causada por la minería de oro mediante el uso de sensores de Radar de Apertura Sintética (SAR) durante los periodos 2010-2020. El procesamiento de datos se realizó utilizando plataformas como Google Earth Engine, SNAP ESA, ENVI y ArcMap. La precisión de los resultados fue verificada con muestras de campo y con imágenes de resolución media y alta (PlanetScope y WorldView). En enero de 2010, la cobertura boscosa era de 354.609,93 ha, disminuyendo a 354.477,20 ha en diciembre de 2010, a 354.125,48 ha en diciembre de 2015 y a 353.838,13 ha en diciembre de 2020. La deforestación atribuida a la minería de oro fue de 1,19 ha en 2010, 36,94 ha en 2015 y 99,73 ha en 2020. Entre 2010 y 2020, se perdieron 1.414,07 ha de bosque, de las cuales el 7,05% se debió a la minería de oro, con una tasa anual de pérdida de 0,003% (9,85 ha/año). Durante estos 10 años, 1.392,23 ha de bosque se convirtieron en otras categorías de uso del suelo, de las cuales 97,18 ha (6,98%) fueron por minería de oro, mientras que la agricultura y la construcción de infraestructura representaron el 93,02% de los cambios en la microcuenca del río Pariamanu.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024.

- Determinar la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024.
- Determinar la influencia de la pérdida de bosques en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. CAMBIO DE USO DE SUELO

El cambio de uso del suelo implica la alteración de una superficie terrestre de una categoría de uso a otra, como la conversión de bosques en terrenos agrícolas, áreas urbanas o infraestructura. Este fenómeno puede ser causado por actividades humanas como la expansión de ciudades, la agricultura, la tala de árboles o la construcción, y tiene un impacto significativo en la estructura del paisaje y en los ecosistemas locales. Las modificaciones en el uso del suelo afectan aspectos cruciales como la biodiversidad, los ciclos del agua y el carbono, así como la calidad del suelo (Martínez et al., 2020).



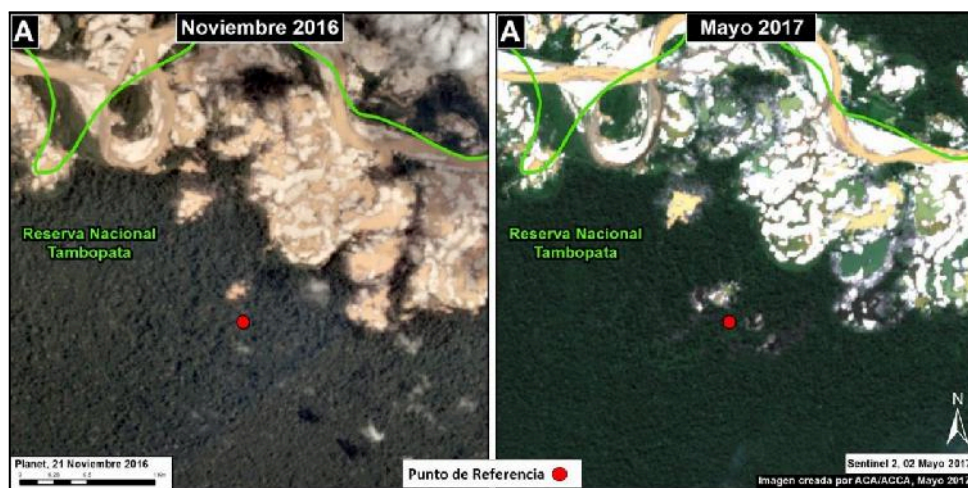
**Figura 01:** Cambio de uso de suelo.

**Fuente:** (Jensen, 2021).

Para analizar estos cambios, se emplean técnicas de teledetección y análisis espacial que permiten observar y medir las variaciones en la cobertura del suelo con el tiempo. Estos análisis son cruciales para identificar patrones en la transformación del paisaje y para diseñar estrategias de gestión sostenible. Evaluar el cambio de uso del suelo ayuda a localizar áreas críticas para la conservación y a planificar el manejo de los recursos de manera más equilibrada, atendiendo tanto a las necesidades humanas como a la preservación de los ecosistemas naturales (Jensen, 2021).

### 2.1.2. DEFORESTACIÓN

La deforestación implica la reducción o eliminación extensiva de áreas forestales y selváticas, generalmente provocada por actividades humanas como la tala, la quema o la transformación de tierras para agricultura y urbanización. Este fenómeno provoca la pérdida de cobertura forestal, lo que puede derivar en la degradación del suelo, disminución de la biodiversidad y alteraciones en los ciclos del agua y del carbono. Además, la deforestación contribuye al cambio climático, ya que los bosques, al actuar como sumideros de carbono, ayudan a regular el CO<sub>2</sub> atmosférico, y su pérdida incrementa su concentración en el aire (Huchin et al., 2023).



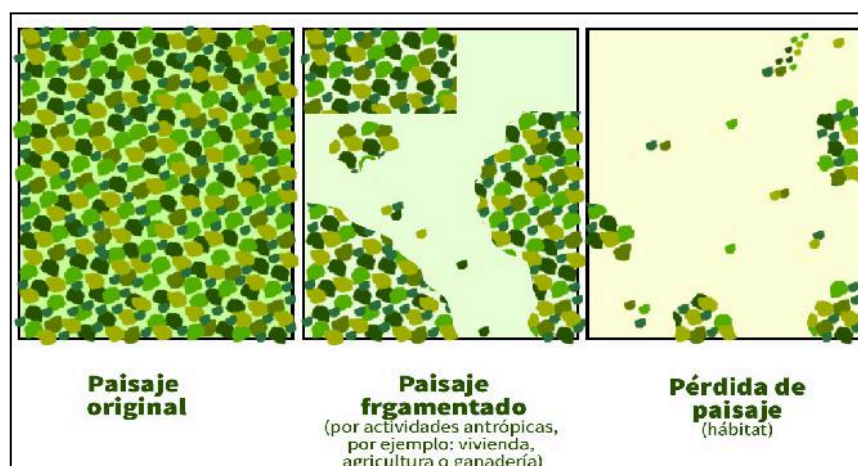
**Figura 02:** Deforestación.

**Fuente:** (Salizzi, 2021).

El impacto de la deforestación también se extiende a aspectos socioeconómicos importantes. La eliminación de bosques afecta a las comunidades locales que dependen de estos recursos para su supervivencia, incluyendo alimentos, medicinas y materiales de construcción. Además, puede generar conflictos sobre el uso de la tierra y reducir la capacidad de los ecosistemas para ofrecer servicios cruciales, como la regulación del clima y la protección de fuentes de agua. Por lo tanto, abordar la deforestación requiere estrategias integradas que consideren tanto las dimensiones ambientales como socioeconómicas (Salizzi, 2021).

### 2.1.3. FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE

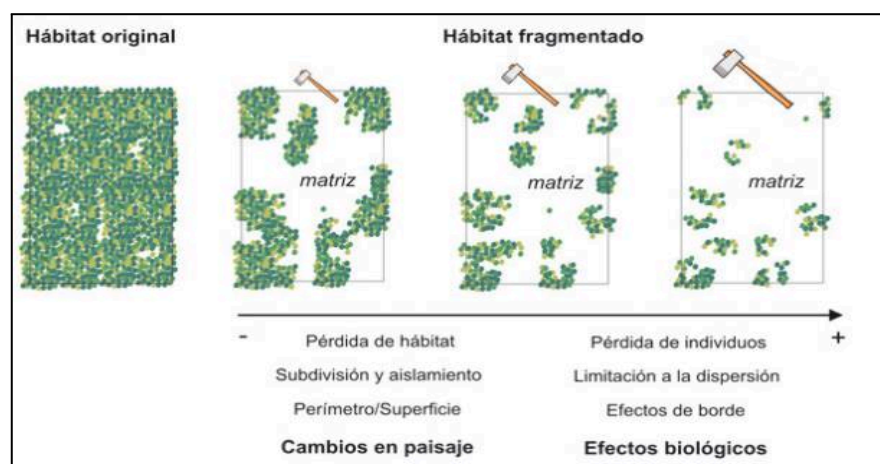
La fragmentación del paisaje describe el proceso en el que un hábitat continuo se divide en parches más pequeños y separados debido a la intervención humana o a cambios naturales en el entorno. Este fenómeno ocurre cuando extensas áreas de hábitat se transforman en parcelas menores a causa de actividades como la deforestación, la expansión urbana o la agricultura. La fragmentación modifica la configuración del paisaje, generando áreas de hábitat aisladas en medio de zonas degradadas o urbanizadas, lo que puede dificultar la movilidad de las especies, la dispersión de semillas y el flujo de recursos ecológicos (Morera et al., 2021).



**Figura 03:** Fragmentación y pérdida del paisaje.

**Fuente:** (Marchant et al., 2023).

Los efectos de la fragmentación del paisaje sobre la biodiversidad y los ecosistemas son significativos. Al reducir el tamaño de los fragmentos de hábitat y aumentar su aislamiento, se limitan las posibilidades de reproducción, migración y adaptación de las especies a cambios ambientales. Esto puede llevar a una disminución de la diversidad biológica, ya que las especies que requieren grandes extensiones de hábitat continuo pueden enfrentar serias dificultades para sobrevivir. Además, la fragmentación puede alterar procesos ecológicos críticos, como la dispersión de semillas y la regulación de nutrientes, afectando la salud general de los ecosistemas (Nogué et al., 2019).



**Figura 04:** Fragmentación del paisaje.

**Fuente:** (Nogué et al., 2019).

#### 2.1.4. ECOLOGÍA DEL PAISAJE

La ecología del paisaje es una subdisciplina de la ecología que examina cómo los patrones espaciales del paisaje interactúan con los procesos ecológicos. Se enfoca en cómo la configuración y composición de elementos como bosques, campos y cuerpos de agua afectan los procesos ecológicos y la distribución de las especies. Esta área de estudio evalúa cómo los cambios en el uso del suelo, la fragmentación de hábitats y otras alteraciones del paisaje impactan en la biodiversidad, la dinámica de los ecosistemas y su funcionalidad (Vergara & Ibarra, 2019).

También investiga cómo la estructura del paisaje influye en las interacciones entre organismos y sus ambientes, y cómo estos patrones espaciales pueden afectar la resiliencia y sostenibilidad de los ecosistemas. Para ello, emplea herramientas como el análisis de imágenes satelitales y modelos espaciales, con el objetivo de entender mejor la complejidad del paisaje y desarrollar estrategias para una gestión y conservación efectiva de los recursos naturales, promoviendo la protección de la biodiversidad (Márquez et al., 2022).

#### **2.1.5. MÉTRICAS DE PATRONES DEL PAISAJE**

Las métricas de patrones del paisaje son herramientas cuantitativas empleadas en ecología del paisaje para evaluar y describir la disposición y estructura de un paisaje. Estas métricas analizan aspectos como la composición, la configuración y la fragmentación del paisaje, proporcionando detalles sobre cómo se distribuyen y organizan diferentes tipos de cobertura del suelo, como bosques, praderas y áreas urbanas (Martínez, 2022).

Entre las métricas más utilizadas se encuentran el porcentaje de cobertura por tipo, el número y tamaño de los parches y la densidad de bordes. Estas mediciones permiten comprender el impacto de los cambios en el uso del suelo y la fragmentación en la biodiversidad, la conectividad de los hábitats y la funcionalidad de los ecosistemas (Rodríguez et al., 2021).

#### **2.1.6. TELEDETECCIÓN Y SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)**

La teledetección es una técnica que permite recolectar información sobre la superficie terrestre mediante sensores situados en satélites, aviones o drones, que registran imágenes y datos en diversas longitudes de onda del espectro electromagnético. Estos sensores brindan detalles precisos sobre características del terreno, como la cobertura del suelo, la vegetación y cuerpos de agua, sin necesidad de intervención directa (Flores, 2019).

La teledetección es esencial para el monitoreo de cambios ambientales, la gestión de recursos naturales y la evaluación de impactos ambientales, debido a su capacidad para abarcar grandes extensiones y ofrecer datos en múltiples momentos (Villanueva et al., 2021).

#### **2.1.7. IMÁGENES SATELITALES LANDSAT-8**

Landsat 8, lanzado en 2013 por la NASA y el USGS, es un satélite de observación terrestre que captura imágenes detalladas para análisis ambiental, gestión de desastres, cartografía y agricultura (USGS, 2013).

**Tabla 01:** Bandas del satélite LandSat-8.

Banda	Rango espectral ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)	Tiempo de retorno del satélite LandSat-8
B1 - Azul costera	0.433 - 0.453	30	Al mismo sitio en la Tierra es de 16 días
B2 - Azul	0.450 - 0.515	30	
B3 - Verde	0.525 - 0.600	30	
B4 - Rojo	0.630 - 0.680	30	
B5 - Infrarrojo cercano (NIR)	0.845 - 0.885	30	
B6 - Infrarrojo de onda corta 1 (SWIR-1)	1.560 - 1.660	30	
B7 - Infrarrojo de onda corta 2 (SWIR-2)	2.100 - 2.300	30	
B8 - Pancromática	0.500 - 0.680	15	
B9 - Cirrus	1.360 - 1.390	30	
B10 - Infrarrojo térmico 1 (TIRS-1)	10.6 - 11.2	100 (reprocesado a 30)	
B11 - Infrarrojo térmico 2 (TIRS-2)	11.5 - 12.5	100 (reprocesado a 30)	

**Fuente:** (USGS, 2013).

### 2.1.8. SENSORES REMOTOS

Los sensores remotos son dispositivos diseñados para recolectar información sobre la superficie terrestre desde una distancia, sin necesidad de contacto físico. Se instalan en plataformas como satélites, aviones o drones y miden la radiación electromagnética reflejada o emitida por los objetos en diferentes longitudes de onda. Pueden ser pasivos,

capturando radiación solar reflejada, o activos, emitiendo señales propias y detectando la radiación reflejada. Esta tecnología se usa para generar imágenes y datos sobre características del terreno, como la cobertura del suelo y la vegetación (Cisneros et al., 2024).

Estos sensores ofrecen una perspectiva amplia y detallada del terreno, lo cual es esencial para el monitoreo ambiental, la gestión de recursos y la planificación del uso del suelo. Gracias a su capacidad para recolectar datos a gran escala y en distintos momentos, permiten realizar análisis precisos sobre cambios en el uso del suelo, la salud de los ecosistemas y los efectos de las actividades humanas. Los datos proporcionados por los sensores remotos son vitales para estudios sobre cambio climático, gestión de desastres y evaluación de impactos ambientales (Estrada et al., 2023).

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

- **Bosques:** son ecosistemas dominados por una densa capa de árboles y vegetación arbórea que cubre el suelo. Estos sistemas se encuentran en diferentes regiones globales, desde áreas tropicales hasta regiones templadas y boreales, y son esenciales para mantener la biodiversidad, el equilibrio climático y la salud ambiental (Miranda et al., 2018).
- **Fragmentación:** describe el proceso por el cual un ecosistema o hábitat continuo se divide en fragmentos más pequeños y dispersos, como resultado de actividades humanas o eventos naturales (Orellana, 2020).
- **Paisaje:** representa la manifestación visual y funcional de un área terrestre, conformada por la interacción de componentes naturales y humanos. Este concepto abarca aspectos como el relieve, la vegetación, los cuerpos de agua, las construcciones y las actividades humanas que modelan un entorno particular (Manríquez et al., 2019).

- **Pérdida:** se refiere a la reducción o eliminación de las características estéticas, ecológicas y culturales de un área, como resultado de cambios en el uso del suelo o actividades humanas. Este proceso puede ser causado por la urbanización, la deforestación, la minería, la expansión agrícola o la construcción de infraestructura (Caicedo et al., 2019).
- **QGIS:** Es un programa de software de suministro abierto para sistemas GNU/Linux, Unix, Mac OS y Microsoft Windows. Permite manejar formatos ráster y vectoriales como shp, además de bases de datos especiales (Del Carmen et al., 2023).
- **R-Studio:** Este entorno de desarrollo integrado en el lenguaje de programación R se centra en el análisis estadístico y las instantáneas. Ofrece funciones de gestión del espacio de trabajo, una consola, gráficos y un editor de sintaxis para la ejecución sencilla de código (Del Carmen et al., 2023).

### 2.3. MARCO NORMATIVO

El análisis de la pérdida de bosques y la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, durante el período 2015-2024 se basa en un marco normativo peruano diseñado para proteger los recursos naturales y asegurar una gestión ambiental adecuada. La Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Ley N.º 29763) establece las bases para la conservación y el uso sostenible de los bosques y la fauna silvestre, regulando la protección forestal y exigiendo permisos para actividades que puedan afectar estos ecosistemas. La ley también promueve la restauración y reforestación de áreas degradadas.

El Reglamento de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre (Decreto Supremo N.º 018-2015-MINAGRI) detalla cómo se debe implementar esta ley, especificando los procedimientos para la gestión forestal, la obtención de permisos y el monitoreo de la deforestación. Este reglamento es crucial para entender cómo se regulan y controlan las actividades que causan pérdida de bosques y fragmentación en Madre de Dios.

Además, la Ley General del Ambiente (Ley N.º 28611) y su Reglamento (Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM) ofrecen un marco adicional para la protección ambiental, regulando los impactos de actividades humanas como la minería y la agricultura. Este marco asegura que los proyectos se evalúen en función de sus efectos sobre el medio ambiente y los ecosistemas.

El Plan Nacional de Restauración de Ecosistemas 2020-2030 proporciona directrices estratégicas para la restauración y conservación de áreas degradadas, abordando la deforestación y la fragmentación del paisaje. Este plan es clave para mitigar la pérdida de cobertura forestal en Huepetuhe.

Finalmente, las normas regionales y locales en Madre de Dios aportan regulaciones adicionales específicas para la gestión de recursos naturales y la protección ambiental en la región. Estas normas aseguran una administración integral de los bosques y el paisaje, considerando tanto las leyes nacionales como las necesidades locales.

## **2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La pérdida de bosques detectada mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024, es estadísticamente descendente.

### **2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

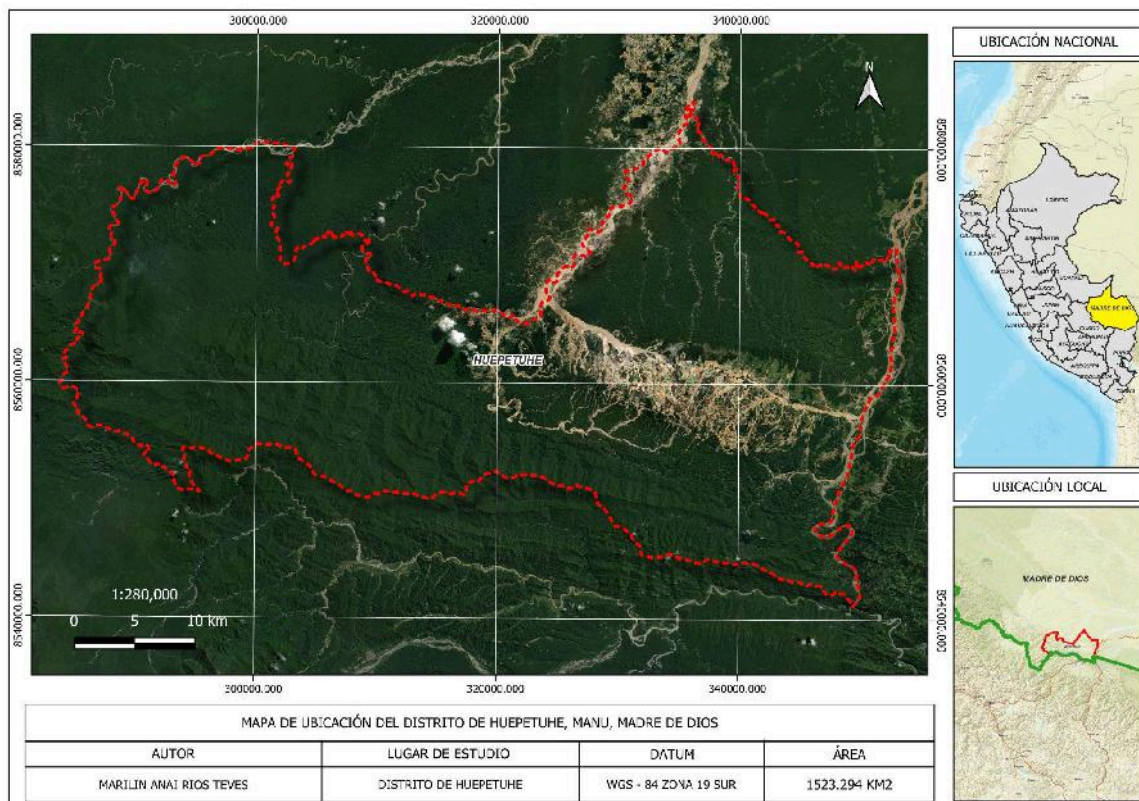
- La pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024, es descendente.
- La fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024, es significativa.
- La pérdida de bosques influye en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

Huepetuhe es un distrito ubicado en la provincia de Manu, dentro del departamento de Madre de Dios, en Perú. El distrito cuenta con una superficie de 1523.29 km<sup>2</sup> y se encuentra en la región amazónica a una altitud de 200 m.s.n.m.



**Figura 05:** Mapa de ubicación del distrito de Huepetuhe.

En lo que respecta a sus fronteras, Huepetuhe se encuentra al norte con el distrito de Fitzcarrald, al este con el distrito de Manu, al sur con la provincia de Puno y al oeste con

el distrito de Tambo. La ubicación en la cuenca del río Manu le proporciona un clima tropical húmedo, caracterizado por elevadas precipitaciones y temperaturas entre 24°C y 28°C. Este entorno, situado en una de las regiones más ricas en biodiversidad del planeta, subraya la importancia del distrito para estudios de conservación y gestión ambiental.

### **3.2. TAMAÑO DE MUESTRA**

#### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población está constituida por 10 escenas de las imágenes satelitales LandSat-8, con la combinación de Path = 3 y Row = 69 que corresponde a una localización específica dentro del Sistema de Referencia Mundial (WRS), que organiza la superficie terrestre en una cuadrícula de caminos y filas, las imágenes satelitales LandSat-8 serán obtenida en las épocas de humedad baja durante el periodos 2015 y 2024 para la superficie del distrito de Huepetuhe que cuenta con una extensión de 1523.29 km<sup>2</sup>, situada en la provincias de Manu del departamento de Madre de Dios.

#### **3.2.2 MUESTRA**

La muestra fueron los píxeles de la imagen satelital LandSat-8 que cuentan con una resolución de 30 x 30 metros (m), lo cual representó las (1) coberturas boscosas, (2) suelos deforestados y (3) agua durante los periodos 2015 y 2024.

### **3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

**Método inductivo:** Se refiere a la capacidad de razonamiento inductivo, que parte de indicios concretos y conduce a inferencias específicas. Para llegar a una generalización, se basa en la observación de hechos concretos (Machado & Armendariz, 2018).

**Técnica de observación:** Es el proceso de examinar atentamente una cosa para asimilar plenamente la naturaleza del todo, incluido su conjunto de datos, hechos y fenómenos (Machado & Armendariz, 2018).

**Técnica de Investigación:** La técnica empleada en esta investigación fue el análisis de imágenes satelitales combinado con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta técnica permitió procesar y analizar datos capturados por sensores remotos, los cuales generaron imágenes de alta resolución de la superficie terrestre. Mediante la clasificación de estas imágenes y la identificación de cambios, se pudo detectar la pérdida de cobertura forestal y la fragmentación del paisaje a lo largo del tiempo. El análisis geoespacial fue fundamental para identificar patrones de deforestación y su relación con los cambios en el uso del suelo.

**Instrumento de Investigación:** El instrumento principal que se utilizó en esta investigación es el software especializado en SIG y programación, como RStudio y QGIS, en conjunto con imágenes satelitales de la resolución de 30 m obtenidas de la plataforma geomática Google Earth Engine. Estas herramientas permitieron la manipulación, visualización y análisis de datos geoespaciales para detectar cambios en la cobertura forestal, calcular métricas de fragmentación del paisaje y evaluar la conectividad de los hábitats en el distrito de Huepetuhe durante el período de estudio. Asimismo, se emplearon herramientas estadísticas para realizar análisis cuantitativos y validar los resultados obtenidos a partir de los datos geoespaciales.

**Metodología para el objetivo específico O1:** Estimar la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024.

- **Selección de Imágenes Satelitales:**

De la plataforma geomática Google Earth se descargaron las imágenes satelitales LandSat-8 con una resolución de 30 m, que cubría todo el área de Huepetuhe durante el periodo 2015 y 2024. Se buscaron imágenes de los meses de media humedad del año, que presentan con menor presencia de nubes.

- **Preprocesamiento de Imágenes:**

Las imágenes LandSat-8 de la plataforma geomática Google Earth Engine provienen ya con correcciones radiométricas y atmosféricas, las imágenes presentan ya reducido el ruido y mejorando la claridad, tan sólo se recorto las imágenes para enfocar el análisis únicamente en el área del distrito de Huepetuhe.

- **Clasificación de Cobertura Vegetal:**

Se implementó la técnica de clasificación supervisada donde primeramente se realizaron las muestras de entrenamiento en el software QGIS para tres clases (1) Bosques, (2) Suelos deforestados y (3) Agua, luego en el software RStudio se realizó la clasificación supervisada mediante el modelo Árboles de Clasificación y Regresión (CART), para identificar las áreas (1) Bosques, (2) Suelos deforestados, y (3) Agua, también al modelo se acoplaron los índices espectrales del NDVI y NDWI.

**Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).**

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

**Donde:**

NIR = Infrarrojo Cercano (Banda 5 en LandSat-8)

RED = Banda roja (Banda 4 en LandSat-8).

**Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)**

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

**Donde:**

NIR = Infrarrojo Cercano (Banda 5 en LandSat-8)

SWIR = Infrarrojo de Onda Corta (Banda 6 en LandSat-8).

- **Cálculo de la Pérdida de Bosques:**

Se realizó un análisis temporal para comparar las áreas de bosque en diferentes años, se calculó la pérdida de bosques determinando la diferencia en la extensión de áreas boscosas entre el año 2015 y 2024.

- **Validación de Resultados:**

Se valoró la exactitud de la categorización y los hallazgos del estudio de pérdida de bosques empleando medidas como la matriz de confusión y el coeficiente Kappa.

**Tabla 00:** Estructura de una matriz de confusión.

$$\text{Matriz de confusión}(MC) = \frac{\sum TP \text{ Valores en la diagonal principal (clasificados correctamente)}}{\sum T \text{ Total de muestras ( Suma de todos los valores de la matriz)}}$$

**Coficiente Kappa de Cohen ( $\kappa$ )**

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

**Donde:**

- **$P_o$**  = Precisión observada.
- **$P_e$**  = Precisión esperada por azar.

**Tabla 02:** Interpretación de Kappa.

Valor de Kappa ( $\kappa$ )	Nivel de acuerdo
$\kappa \leq 0$	Sin acuerdo
0.01 – 0.20	Acuerdo leve
0.21 – 0.40	Acuerdo aceptable
0.41 – 0.60	Acuerdo moderado
0.61 – 0.80	Acuerdo sustancial
0.81 – 1.00	Acuerdo casi perfecto

**Fuente:** (Márquez, 2022).

● **Análisis Estadístico:**

Se realizó el análisis estadístico para calcular la tasa anual de pérdida de bosques y determinar la tendencia general de deforestación durante todo el periodo estudiado (FAO, 1999).

$$Td = \left[ \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

Donde:

$Td$  = Deforestación en porcentajes

$S_2$  = Área de deforestada en el año final

$S_1$  = Área deforestada en el año inicial.

$n$  = Número de años del periodo de análisis.

**Metodología para el objetivo específico O2:** Determinar la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024.

- **Selección de Imágenes Satelitales:**

Para el segundo objetivo se utilizaron los resultados del objetivo específico 1, durante el periodo 2015 y 2024.

- **Análisis de Fragmentación:**

Se empleó el software especializado de programación R-Studio para calcular las métricas de fragmentación del paisaje con la librería (*LandscapeMetrics*). Luego se calcularon con las imágenes clasificadas los índices de fragmentación del paisaje como el Tamaño promedio del parche (MPS), Densidad del borde (ED), Índice de aislamiento (AI) y el Número de parches (NP). También se calcularon los índices de biodiversidad como el Índice de Shannon (SHDI) y el Índice de Simpson (SIDI).

- ❖ **Índices de fragmentación**

**Tamaño Promedio del Parche (MPS)**

$$MPS = \frac{\sum Ai}{NP}$$

Donde:

$Ai$  = Área de cada parche

$NP$  = Número total de parches.

Un MPS alto indica un paisaje menos fragmentado con parches grandes por otro lado un MPS bajo indica mayor fragmentación y parches pequeños.

#### **Densidad del Borde (ED)**

$$ED = \frac{\sum Pi}{A} \times 10,000$$

**Donde:**

***Pi*** = Perímetro de cada parche

***A*** = Área total del paisaje.

Un ED alto indica mayor fragmentación con más bordes por otro lado un ED bajo refleja un paisaje más compacto y menos fragmentado.

#### **Índice de Aislamiento (AI)**

$$AI = \frac{\sum(gii)}{\sum gi} \times 100$$

**Donde:**

***gii*** = Número de pares de celdas de la misma clase

***gi*** = Total de pares de celdas.

Con valores cercanos a 100% indican altamente agrupado, mientras que valores bajos sugieren mayor dispersión y fragmentación.

#### **Número de Parches (NP)**

$$NP = \sum Ni$$

**Donde:**

***Ni*** = Cantidad de parches de cada clase.

Un NP alto sugiere mayor fragmentación del paisaje, por otro lado un NP bajo indica un paisaje más homogéneo.

#### **❖ Índices de Biodiversidad**

##### **Índice de Shannon (SHDI)**

$$SHDI = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

**Donde:**

**S** = Número total de especies (riqueza de especies)

***pi*** = Proporción de individuos de la especie *i* respecto al total.

**Tabla 03:** Interpretación del Índice de Shannon (SHDI).

Valor de SHDI	Interpretación
SHDI = 0	Sin diversidad (con una especie dominante y pocas otras especies presentes)
0 < SHDI < 1	Diversidad muy baja, fuerte dominancia de una especie
1 ≤ SHDI < 2	Diversidad baja, pocas especies predominan
2 ≤ SHDI < 3	Diversidad moderada, mejor distribución de especies
SHDI ≥ 3	Alta diversidad, ecosistema equilibrado

**Fuente:** (Lara, 2024).

**Índice de Simpson (SIDI)**

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$$

**Donde:**

**S** = Número total de especies

***pi*** = Proporción de individuos de la especie *i*.

**Tabla 04:** Interpretación del Índice de Simpson (SIDI).

Valor de SIDI	Interpretación
$SIDI < 0.2$	Muy baja diversidad, dominancia extrema
$0.2 \leq SIDI < 0.4$	Baja diversidad, pocas especies dominan
$0.4 \leq SIDI < 0.6$	Diversidad media, moderada equidad
$0.6 \leq SIDI < 0.8$	Alta diversidad, especies bien distribuidas
$0.8 \leq SIDI < 1.0$	Muy alta diversidad, ecosistema equilibrado

**Fuente:** (Lara, 2024).

- **Evaluación Multitemporal:**

Se analizó la evaluación en la estructura del paisaje comparando las métricas de fragmentación durante los periodos 2015 y 2024.

- **Análisis Espacial:**

Se analizó la ubicación de los parches forestales y zonas deforestadas con el objetivo de detectar patrones de fragmentación.

**Metodología para el objetivo específico O3:** Determinar la influencia de la pérdida de bosques en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024.

- **Integración de Datos:**

Se combinaron los resultados de la pérdida de bosques (O1) y la fragmentación del paisaje (O2), para determinar la influencia de la pérdida de bosques en la fragmentación del paisaje.

- **Análisis de Correlación Espacial:**

Se generó un análisis de correlación espacial para examinar la relación entre la deforestación y la fragmentación del paisaje. Empleando técnicas estadísticas como

modelos de regresión espacial para evaluar cómo la pérdida de bosques afecta la fragmentación.

- **Evaluación de Resultados:**

Se analizaron los resultados para determinar el impacto de la pérdida de bosques en la fragmentación del paisaje. Contrastando los hallazgos con estudios similares en diferentes áreas o contextos para corroborar las conclusiones.

- **Generación de Mapas Temáticos:**

Se crearán mapas temáticos y gráficos que representen la interacción entre la deforestación y la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe.

### **3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

Causa o variable independiente (VI): Pérdida de bosques.

Efecto o variable dependiente (VD): Fragmentación del paisaje.

**Tabla 05:** Operacionalidad de Variables.

Variables	Indicadores	Escala de Medición	Tipos de variables
(VI) Pérdida de bosques.	- Áreas	km <sup>2</sup>	Independiente
	<b>Índice de fragmentación</b>		
	- Tamaño Promedio del Parque (MPS).	m <sup>2</sup>	
(VD) Fragmentación del paisaje.	- Densidad del borde (ED)	m <sup>2</sup>	
	- Índice de aislamiento (AI)	%	
	- Número de Parches (NP).	Proporciones	Dependiente
	<b>Índice de biodiversidad</b>		
	- Índice de Diversidad de Shannon (SHDI).		
	- índice de Simpson (SIDI)		

### 3.5. MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

- **Tratamiento de pruebas estadísticas**

Una de las fases más importantes en la investigación cuantitativa, consiste en el procesamiento, análisis e interpretación de los datos recolectados mediante las fotografías aéreas, para lo cual en este trabajo de investigación se aplicó la estadística inferencial, aquella que ayuda al investigador a encontrar significatividad a sus resultado

- **Pruebas de normalidad**

Para determinar una adecuada prueba estadística de correlación que expliquen las relaciones entre variables, primeramente se determinó el supuesto paramétrico de normalidad de los datos.

Para establecer si los valores poseen una distribución normal, se utilizó el test de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965), usualmente utilizado en grupos de datos con un número de valores que no supera los 50. La prueba está sujeta a una significancia de 95% (0.05), donde si el resultado (*p-value*) es superior al valor de 0.05 se determina una “distribución normal”, si el resultado es menor al valor de 0.05 se determina una “distribución no normal”

Dependiendo de los resultados del test, se recomienda usar un test paramétrico en el caso de que se cumplan con las pruebas paramétricas de normalidad, si los datos no cumplen con alguna de estas dos condiciones se recomienda emplear un test no paramétrico para analizar las relaciones entre sí.

- **Coeficiente de correlación (r)**

De acuerdo con Asuero et al. (2006), hace referencia a la intensidad de la conexión lineal que determina la intensidad de la conexión entre dos variables. Cuando se realizan pruebas paramétricas, se establece el coeficiente de correlación mediante el método de Pearson, en cambio, si la circunstancia es distinta (Artusi et al., 2002), se utiliza el método de Spearman. Para determinar la intensidad de la relación, se establecen los rangos del coeficiente de correlación entre -1 y +1, empleando la tabla 06, para determinar la intensidad de la relación, se establecen los intervalos entre -1 y +1.

**Tabla 06:** Grado de correlación.

<b>r</b>	<b>Interpretación</b>
0.90 - 1.00	Correlación muy alta
0.70 - 0.89	Correlación alta
0.50 - 0.69	Correlación moderada
0.30 - 0.49	Correlación baja
0.00 - 0.29	Poca correlación

**Fuente:** Adaptado de Asuero et al. (2006).

- **Prueba t**

La prueba t de Student es una técnica estadística empleada para analizar y contrastar las medias de dos conjuntos de datos, con el propósito de identificar si existen diferencias significativas entre ellos.

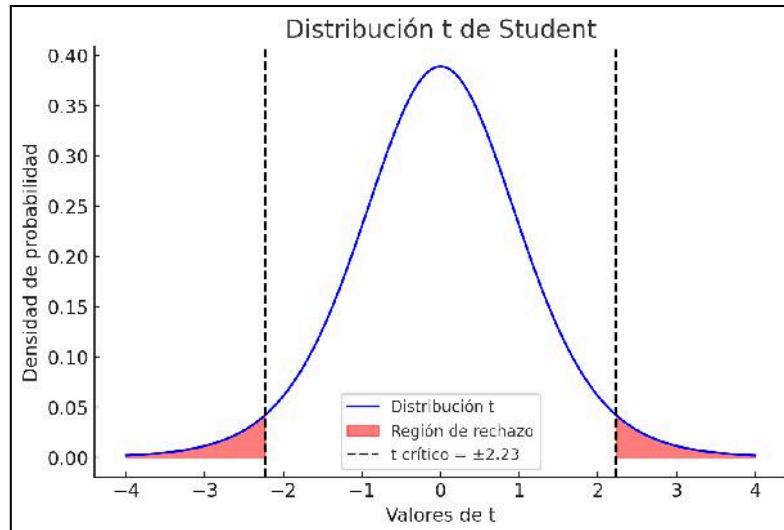
La fórmula básica de la prueba t es:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{SE}$$

**Donde:**

**X1, X2** = Medias de los grupos.

**SE** = Error estándar de la diferencia de medias.



**Figura 06:** Gráfico de la Distribución t.

La región central, simbolizada en blanco, señala el rango en el que no se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ). Por otro lado, las áreas sombreadas en rojo corresponden a las regiones de rechazo, lo que significa que si el valor t obtenido se encuentra en estos sectores, hay suficiente evidencia para descartar  $H_0$  y concluir que existe una diferencia significativa entre las medias. Finalmente, las líneas punteadas en negro marcan los valores críticos de t, los cuales varían en función del nivel de significancia ( $\alpha$ ) y los grados de libertad del análisis.

**Para contrastar las hipótesis:**

Se procedió del siguiente modo, teniendo en cuenta que se quiere analizar la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024, se utilizó el procedimiento estadístico de prueba t de Student, en el software estadísticos RStudio, aplicando el siguiente criterio, un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  y un nivel de confianza al 95%.

**Criterio para decidir:**

Si  $p\text{-valor} \leq 0.05$ , se rechaza  $H_0$ .

Si  $p\text{-valor} > 0.05$ , no se rechaza  $H_0$ .

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

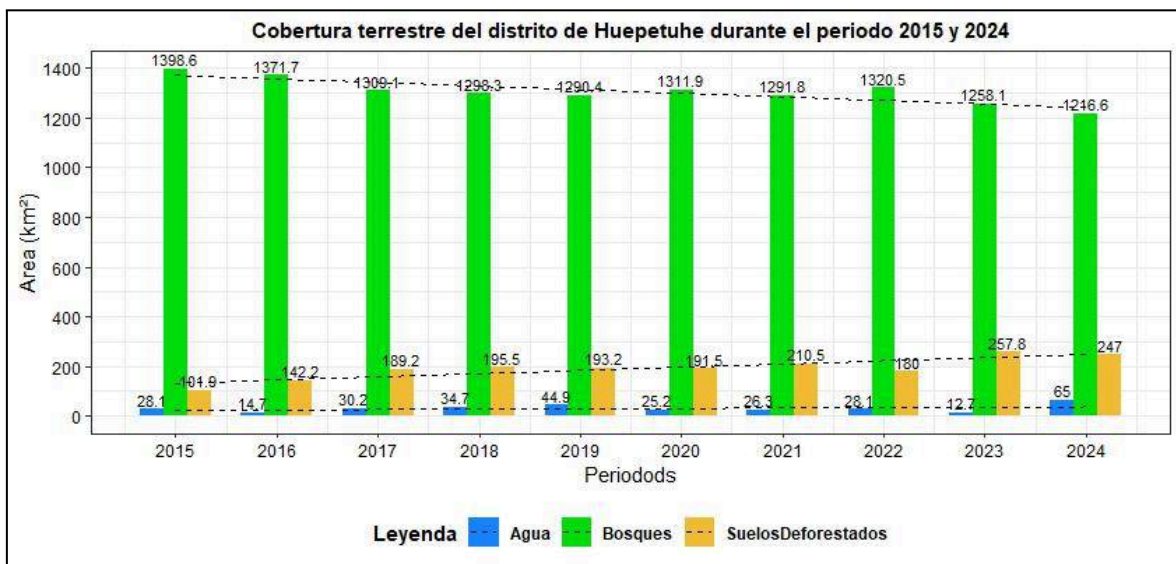
#### 4.1. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES EN EL DISTRITO DE HUEPETUHE MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024.

En el estudio sobre la pérdida de bosques en el distrito de Huetuque entre 2015 y 2024, se utilizaron imágenes satelitales Landsat-8 obtenidas a través de Google Earth Engine, con el uso del lenguaje JavaScript como se muestra en el Anexo 02, de las imágenes procesadas tan solo se extrajeron las 7 bandas espectrales del sensor OLI. Posteriormente, en RStudio, se aplicó una clasificación supervisada utilizando el algoritmo CART (Árboles de Clasificación y Regresión), con tres clases definidas: bosques, áreas deforestadas y cuerpos de agua. Este proceso permitió detectar y medir los cambios en la cobertura terrestre a lo largo de los años, proporcionando una visión detallada sobre la extensión y el ritmo de la deforestación en el distrito de Huetuque, lo que facilitó una mejor comprensión de la pérdida forestal en el distrito. La clasificación supervisada permitió categorizar el territorio en tres clases: bosques, suelos deforestados y agua, y se empleó para analizar la fragmentación del paisaje en el distrito.

**Tabla 07:** Resultados de cambios de las coberturas terrestres del distrito de Huepetuhe.

Periodos	Bosques			Suelos deforestados			Agua		
	Área (km <sup>2</sup> )	Tasa de Cambio (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Tasa de Cambio (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Tasa de Cambio (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
2015	1398.593	0	11%	101.868	0	5%	28.128	0	9%
2016	1371.667	-26.926	10%	142.227	40.359	7%	14.695	-13.433	5%
2017	1309.136	-62.531	10%	189.241	47.013	10%	30.213	15.517	10%
2018	1298.328	-10.808	10%	195.543	6.301	10%	34.719	4.506	11%
2019	1290.441	-7.886	10%	193.204	-2.338	10%	44.944	10.224	15%
2020	1311.851	21.410	10%	191.539	-1.665	10%	25.199	-19.745	8%
2021	1291.770	-20.080	10%	210.525	18.985	11%	26.294	1.095	8%
2022	1320.454	28.683	10%	180.042	-30.483	9%	28.093	1.799	9%
2023	1258.121	-62.333	10%	257.810	77.768	14%	12.658	-15.435	4%
2024	1216.642	-41.479	9%	246.950	-10.860	13%	64.998	52.339	21%
<b>Summa</b>	<b>13067.009</b>	<b>-181.9512</b>	<b>100%</b>	<b>1908.9531</b>	<b>145.0818</b>	<b>100%</b>	<b>309.9438</b>	<b>36.8694</b>	<b>100%</b>

En la tabla 07, se muestran los resultados sobre la pérdida de bosques en el distrito de Huetpetuhe entre 2015 y 2024, utilizando imágenes satelitales, reveló una clara tendencia hacia la deforestación y alteración de la cobertura terrestre, donde el territorio fue clasificado en tres categorías: bosques, áreas deforestadas y agua. En 2015, los **bosques** cubrían el 11% del territorio, pero entre 2015 y 2016, se observó una disminución de  $-26.926 \text{ km}^2$  y para 2024, esta pérdida aumentó a  $-41.479 \text{ km}^2$ , reduciendo la cobertura forestal al 9%. En cuanto a los **suelos deforestados**, su extensión creció considerablemente, pasando del 5% en 2015 al 13% en 2024, con una tasa de cambio de  $40.359 \text{ km}^2$  entre 2015 y 2016, seguida de una reducción de  $-10.860 \text{ km}^2$  entre 2023 y 2024. Por otro lado, el área de **agua**, que representaba el 9% del territorio en 2015, sufrió una disminución de  $-13.433 \text{ km}^2$  entre 2015 y 2016, pero experimentó un notable aumento de  $52.339 \text{ km}^2$  en 2023-2024, alcanzando un 21% de cobertura en 2024, estos resultados indican un proceso acelerado de deforestación y cambios en la cobertura del suelo de Huetpetuhe.



**Figura 07:** Pérdida de la cobertura terrestre del distrito de Huetpetuhe.

En la figura 07, se presentan los hallazgos acerca de la disminución de bosques en el distrito de Huetpetuhe, basados en imágenes satelitales de 2015 a 2024, evidenciando

una significativa modificación en la utilización del suelo. En 2015, la extensión de bosques en la región era de 1,398.593 km<sup>2</sup>, pero para 2024 esta cifra se redujo a 1,216.642 km<sup>2</sup>, lo que indica una pérdida de 181.951 km<sup>2</sup> de cobertura forestal durante ese período. Al mismo tiempo, los suelos deforestados crecieron considerablemente, pasando de 101.8683 km<sup>2</sup> en 2015 a 246.9501 km<sup>2</sup> en 2024, lo que evidencia una expansión significativa de la deforestación. De manera paralela, el área ocupada por cuerpos de agua aumentó, de 28.1286 km<sup>2</sup> en 2015 a 64.998 km<sup>2</sup> en 2024. El distrito ha experimentado una notable reducción de bosques, acompañada de un aumento considerable en la deforestación y alteraciones en el uso del territorio, por otro lado concuerda con **(Janampa & Ponce, 2023)**, En el distrito de Pangoa, Junín, se registró un incremento significativo en la reducción de la superficie boscosa. Durante el periodo 2000-2004, se deforestaron 280,61 hectáreas; desde 2004 hasta 2007, 475,96 hectáreas; desde 2007 hasta 2011, 1.184,69 hectáreas; desde 2011 hasta 2016, 982,42 hectáreas; y desde 2016 hasta 2020, 316,34 hectáreas. Esto suma 3.240,03 hectáreas deforestadas desde el año 2000 hasta el año 2020. El aumento en la deforestación es resultado del avance en la infraestructura y del trabajo agrícola del distrito.

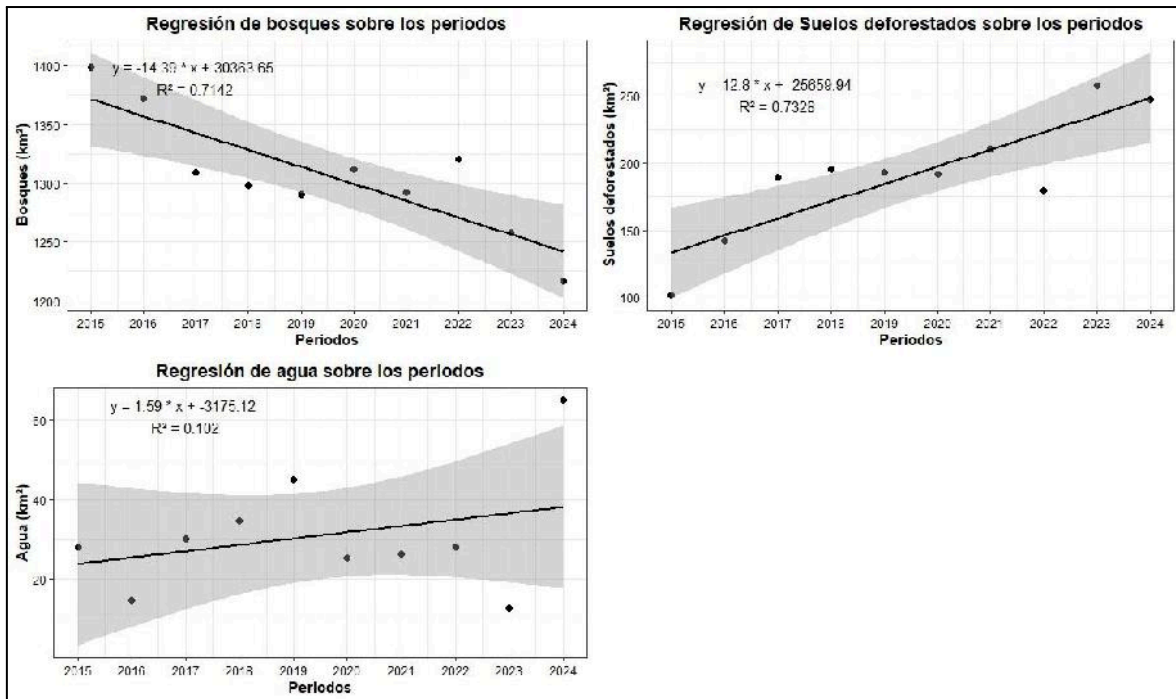
**Tabla 08:** Estadística descriptiva de cambios de las coberturas terrestres.

Variables	Media	Mediana	Desviación estándar	Curtosis	Coefficiente de asimetría	Mínimo	Máximo
<b>Bosques</b>	1306.700	1303.732	51.547	0.626	0.202	1216.642	1398.593
<b>Suelos deforestados</b>	190.895	192.372	45.273	0.778	-0.506	101.868	257.810
<b>Agua</b>	30.994	28.111	15.053	2.292	1.271	12.658	64.998

*Nivel de confianza(95.0%)*

En la tabla 08, se muestra la estadística descriptiva durante el periodo 2015 y 2024, el distrito de Huetupe ha experimentado una notable disminución de sus bosques, lo que se refleja en las estadísticas de tres factores clave: Bosques, Suelos Deforestados y Agua. Respecto a los **Bosques**, la media se sitúa en torno a 1306.7 km<sup>2</sup>, con una mediana de aproximadamente 1303.7 km<sup>2</sup>, lo que sugiere que los valores no presentan grandes discrepancias entre los extremos. Sin embargo, la desviación estándar de 51.5 indica que ha habido variaciones sustanciales en las áreas boscosas a lo largo de los últimos 10 años. La curtosis (0.63) y el coeficiente de asimetría (0.20) revelan una ligera inclinación hacia valores más bajos, con una distribución casi normal de los datos. Las cifras más bajas y altas, 1216.64 km<sup>2</sup> y 1398.59 km<sup>2</sup> respectivamente, evidencian una variabilidad significativa en la superficie de los bosques respecto a los terrenos deforestados, la media es de 190.9 km<sup>2</sup> y la mediana de 192.4 km<sup>2</sup>, lo que indica que la

deforestación ha ido en aumento en el transcurso de los 10 periodos. La desviación estándar de 45.3 señala una dispersión notable en las cifras de deforestación, mientras que el coeficiente de asimetría negativo (-0.51) sugiere que existen más años con niveles más bajos de deforestación. Con una curtosis de 0.78, la distribución muestra una tendencia moderada hacia la zona inferior, siendo los valores mínimo (101.87 km<sup>2</sup>) y máximo (257.81 km<sup>2</sup>) indicativos de un amplio espectro en los números de deforestación, respecto al **agua**, la media es de 30.99 km<sup>2</sup>, mientras que la mediana es de 28.11 km<sup>2</sup>, lo que indica una ligera tendencia al aumento de la disponibilidad de agua a lo largo del periodo. Con una desviación estándar de 15.05, se muestra que los niveles de agua han fluctuado considerablemente. La curtosis de 2.29 y el coeficiente de asimetría de 1.27 sugieren que la distribución está sesgada hacia valores más altos, debido a algunos años con niveles de agua considerablemente más altos que el resto. Los valores mínimo (12.66 km<sup>2</sup>) y máximo (64.99 km<sup>2</sup>) demuestran una gran variabilidad en la disponibilidad de agua, posiblemente influenciada por fenómenos climáticos extremos o cambios en la gestión de los recursos hídricos. Este análisis de las tres variables indica que, aunque haya habido fluctuaciones en el tiempo, la tendencia general en Huepetuhe es una reducción en las áreas de bosques y un aumento en la deforestación, mientras que la disponibilidad de agua ha mostrado grandes variaciones, lo que puede ser atribuido tanto a factores naturales como a la intervención humana.



**Figura 08:** Regresión de las coberturas terrestres con respecto a los periodos.

En la figura 08, se muestran los resultados de la regresión durante el periodo 2015 y 2024, el distrito de Huetupe ha vivido una pérdida considerable de bosques, lo cual queda reflejado en las regresiones y las estadísticas de tres variables importantes: Bosques, Suelos deforestados y Agua. La regresión de los **Bosques** con respecto a los **periodos** presenta un  $R^2$  de -0.714, lo que indica una relación inversa significativa, sugiriendo que el 71.4% de la variabilidad en la cantidad de bosques está relacionada con la disminución de su área a lo largo del tiempo, lo que evidencia una pérdida constante. Por otro lado, la regresión de **Suelos deforestados** con respecto a los **periodos** muestra un  $R^2$  de 0.732, lo que indica que el 73.2% de la variabilidad en el aumento de la deforestación está asociada con el paso de los años, reflejando una tendencia creciente en la superficie deforestada. Finalmente, la regresión de **Agua** respecto a los **periodos** tiene un  $R^2$  de 0.102, lo que sugiere que solo el 10.2% de la variabilidad en los niveles de agua se explica por los cambios a lo largo del tiempo, lo que implica que los niveles de agua no han sido tan influenciados por el paso de los años en comparación con los bosques y los suelos deforestados. Este análisis subraya que la

deforestación ha sido el fenómeno más impactante, mientras que la variabilidad de los niveles de agua ha mostrado un comportamiento más constante. Por otro lado concuerda con **(Rodríguez & Leiton, 2021)**, En la cuenca del río Mira, Ecuador, estudiaron las variaciones temporales y espaciales en los ecosistemas de bosques autóctonos y cómo estas modificaciones impactan la variedad de hábitats entre 1991 y 2017. Se observó una disminución del 9% en los ecosistemas de bosques autóctonos, con un índice de deforestación del 0,57% anual, principalmente debido al crecimiento de las cosechas agrícolas.

### Validación del modelo CART.

**Tabla 09:** Resultado de la matriz de confusión de los periodos 2015 y 2024.

Clases	Bosques	Suelos deforestados	Agua
Bosques	558	2	0
Suelos deforestados	5	1649	5
Agua	0	3	437

En la tabla 09, se muestra la matriz de confusión para los años 2015 y 2024, donde se evalúa la exactitud en la clasificación de tres tipos de cobertura del suelo: bosques, suelos deforestados y cuerpos de agua. Los datos indican que 558 píxeles fueron identificados como bosques, mientras que 2 píxeles fueron incorrectamente asignados a suelos deforestados y ninguno a la categoría de agua, en cuanto a los suelos deforestados, 1649 píxeles mantuvieron su categoría original, aunque 5 píxeles fueron clasificados erróneamente como bosques y otros 5 como agua, respecto a la clase agua, 437 píxeles conservaron su identificación correcta, aunque 3 píxeles fueron confundidos con suelos deforestados. En general, los resultados evidencian un elevado nivel de

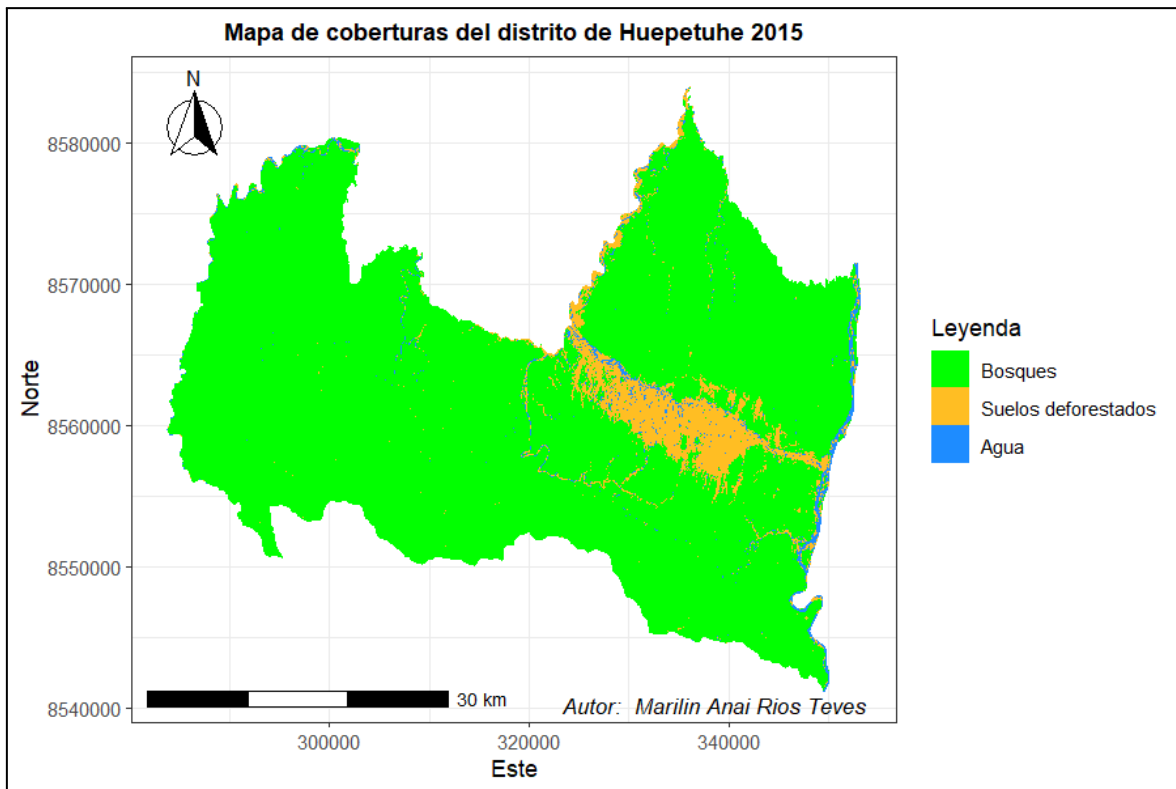
precisión en la clasificación de las categorías, con errores mínimos en la distinción de suelos deforestados y agua.

**Tabla 10:** Resultado Kappa y Accuracy de los periodos 2015 y 2024.

<b>Periodos</b>	<b>Accuracy</b>	<b>Kappa</b>
2015	1	1
2016	0.99	0.98
2017	1	1
2018	1	1
2019	0.99	0.98
2020	1	1
2021	0.98	0.97
2022	0.99	0.98
2023	0.99	0.99
2024	0.99	0.98
<b>Promedio</b>	<b>0.992</b>	<b>0.988</b>

En la tabla 10, se muestra el estudio de Accuracy y Kappa durante el período 2015 y 2024, donde demuestra una clasificación sumamente precisa. El promedio de accuracy alcanzó 0.992 (99.2%), lo que evidencia un rendimiento sobresaliente en la identificación de las distintas categorías analizadas a lo largo del tiempo. Asimismo, el coeficiente Kappa obtuvo un promedio de 0.988 (98.8%), lo que, de acuerdo con la escala de

interpretación, indica un **acuerdo casi perfecto** en la clasificación de las clases de cobertura del distrito de Huepetuhe. En todos los años evaluados, los valores de Kappa superaron el 0.97, lo que confirma la fiabilidad del modelo CART de clasificación y evidencia que las variaciones en la cobertura del suelo se han detectado con gran exactitud y consistencia en todos los periodos.



**Figura 09:** Mapa de coberturas del distrito de Huepetuhe 2015.

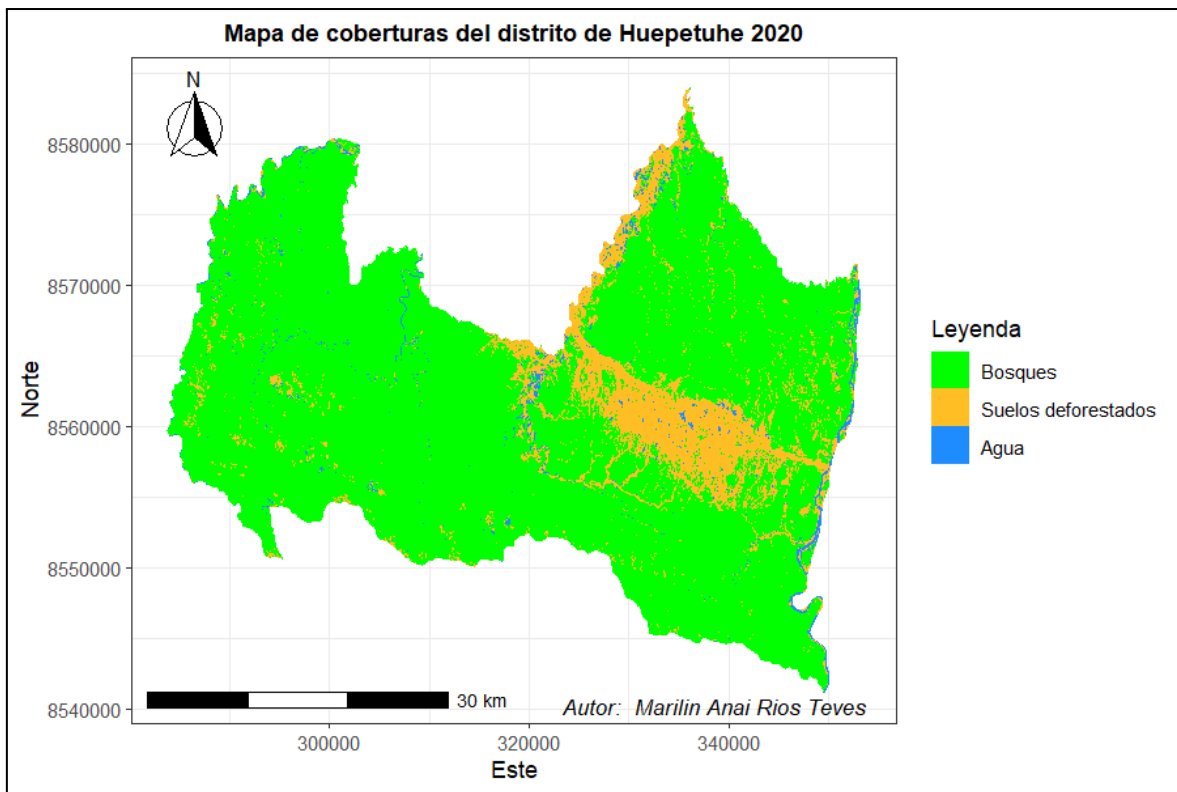


Figura 10: Mapa de coberturas del distrito de Huetpetuhe 2020.

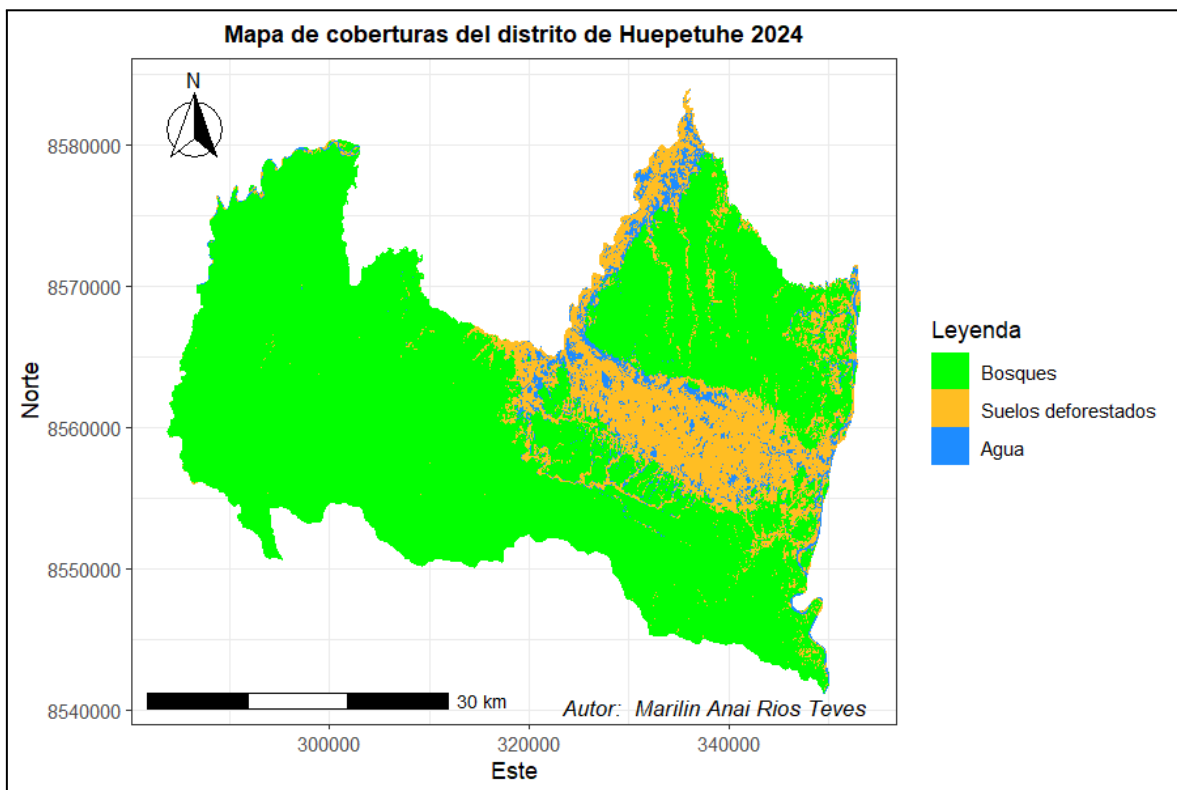


Figura 11: Mapa de coberturas del distrito de Huetpetuhe 2024.

En la figura 09, 10 y 11, se muestran los mapas de coberturas del distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015, 2020 y 2024, revelando alteraciones significativas en el uso del suelo. Se ha identificado un notable incremento en la extensión de suelos deforestados, lo que indica una transformación acelerada del paisaje, posiblemente impulsada por actividades humanas. Particularmente en las zonas ribereñas, donde el impacto de la degradación es más evidente, estos hallazgos indican un avance continuo de la deforestación, posiblemente ocasionado por actividades humanas, lo que subraya la urgencia de implementar acciones de conservación y recuperación del ecosistema en la región. En contraste, la superficie de bosques ha disminuido de manera considerable, evidenciando un proceso continuo de deterioro ambiental. Estas modificaciones enfatizan la necesidad de aplicar estrategias de vigilancia y administración sostenible para disminuir el efecto de la deforestación en el distrito de Huepetuhe.

**Tabla 11:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de las coberturas terrestres.

<b>Variables</b>	<b>Statistic</b>	<b><i>p</i>-valor</b>
Bosques	0.954	0.720
Suelos deforestados	0.934	0.493
Agua	0.886	0.152

*Dónde  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza)*

En la tabla 11, se muestra el análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk en las coberturas terrestres del distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 y 2024, donde muestra que la estadística obtenida para bosques es 0.954 con un *p*-valor de 0.720, en suelos deforestados es 0.934 con un *p*-valor de 0.493, y en agua es 0.886 con un *p*-valor de 0.152. Al igual que en todas las situaciones, los *p*-valores exceden el límite

de significancia  $\alpha = 0.05$ , lo que señala que la información exhibe una distribución normal, esto sugiere que es apropiado el uso de pruebas estadísticas paramétricas, ya que la distribución de los datos no introduce sesgos significativos en el análisis.

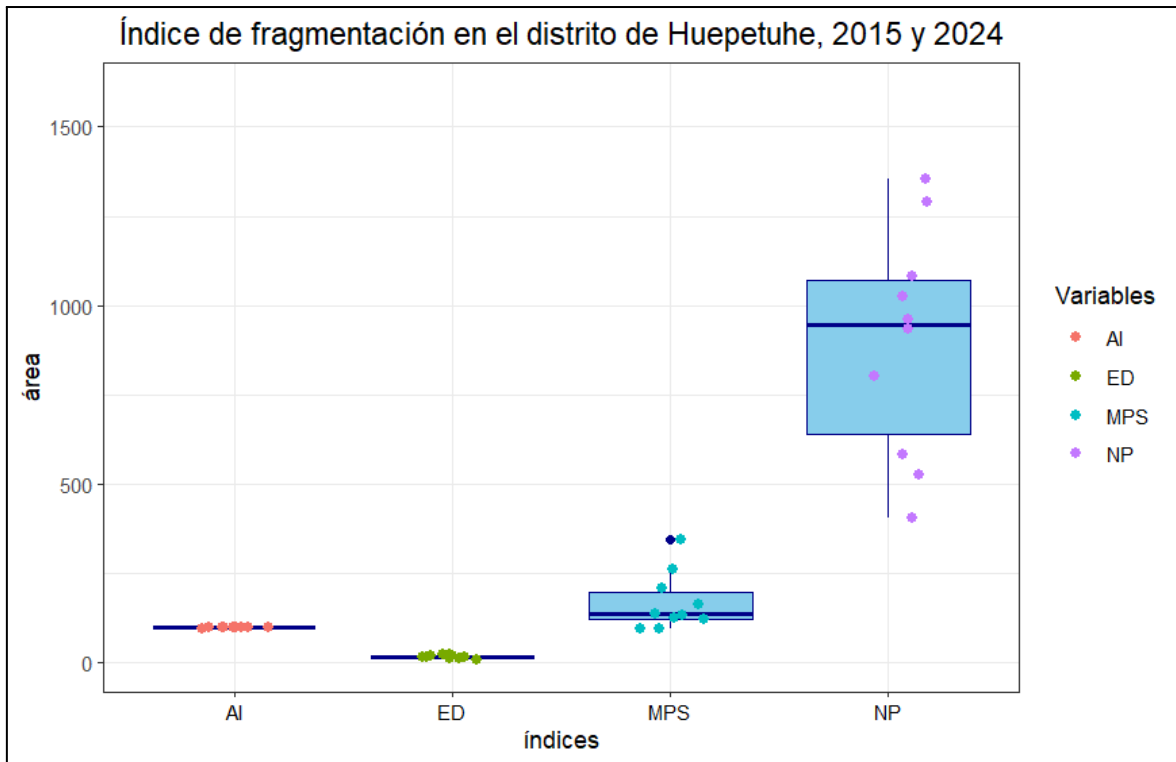
#### **4.2. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE EN EL DISTRITO DE HUEPETUHE DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024.**

El estudio sobre la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe entre los años 2015 y 2024 evidenció cambios significativos en la cobertura del suelo, los cuales fueron analizados mediante el procesamiento de imágenes satelitales LandSat-8 a través de Google Earth Engine. Empleando JavaScript, se extrajeron y evaluaron las siete bandas espectrales del sensor OLI, lo que permitió detectar patrones de transformación y zonas impactadas por actividades humanas. Los hallazgos indican un aumento en la fragmentación del territorio, vinculado principalmente a la expansión de actividades extractivas y modificaciones en el uso del suelo, lo que refleja un progresivo deterioro ambiental en la zona.

**Tabla 12:** Resultados del índice de fragmentación y biodiversidad.

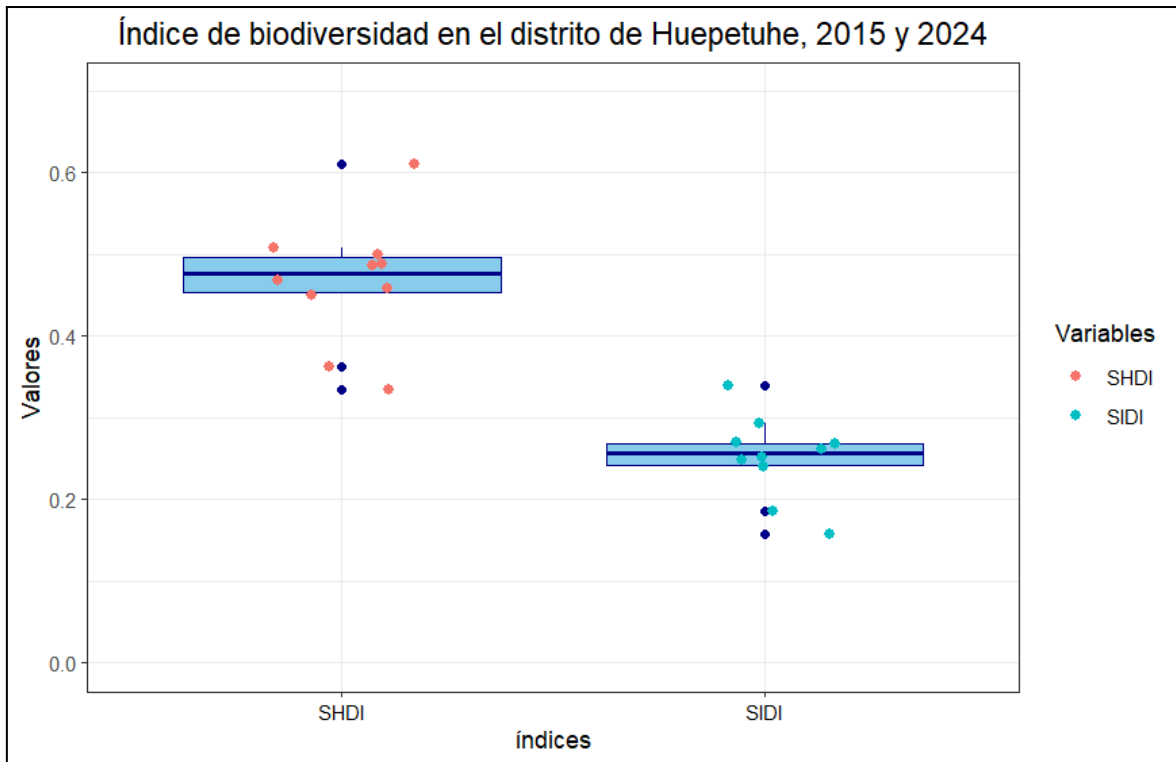
Periodos	Índice de fragmentación				Índice de diversidad del paisaje	
	Tamaño promedio del parche (MPS)	Densidad del borde (ED)	Índice de aislamiento (AI)	Número de parches (NP)	Índice de Shannon (SHDI)	Índice de Simpson (SIDI)
2015	344	8.94	99.2	407	0.335	0.158
2016	261	13	98.9	525	0.363	0.186
2017	163	23.5	97.9	801	0.469	0.251
2018	139	24.4	97.8	933	0.488	0.262
2019	126	16.7	98.5	1025	0.508	0.27
2020	96.7	22	98	1356	0.459	0.248
2021	134	15.6	98.6	963	0.485	0.267
2022	122	15.3	98.6	1084	0.452	0.24
2023	97.5	19.4	98.2	1291	0.5	0.294
2024	208	13.4	98.7	585	0.61	0.339
<b>Promedio</b>	<b>169.12</b>	<b>17.224</b>	<b>98.44</b>	<b>897</b>	<b>0.4669</b>	<b>0.2515</b>

En la tabla 12, se muestra el estudio de la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe entre 2015 y 2024 evidencia una disminución en el **tamaño promedio de los parches (MPS)**, con un valor medio de 169.12, lo que indica una mayor fragmentación del territorio con el paso del tiempo. **La densidad del borde (ED)** alcanza un promedio de 17.224, lo que sugiere un aumento en la exposición de los fragmentos del paisaje, haciéndolos más susceptibles a factores externos. Por su parte, el **índice de aislamiento (AI)** permanece relativamente constante en 98.44, lo que señala que los fragmentos aún mantienen cierto grado de conectividad. **El número de parches (NP)** muestra un promedio de 897, con una tendencia creciente hasta 2023, seguida de una disminución en 2024, lo que podría estar relacionado con procesos de regeneración o fusión de fragmentos. En cuanto a la diversidad del paisaje, **el índice de Shannon (SHDI)** registra un valor medio de 0.4669, lo que indica una diversidad moderada en la composición del territorio, El SIDI, con un promedio de 0.2515, señala una distribución bastante homogénea de los fragmentos. A lo largo del tiempo, se observa que la fragmentación aumentó notablemente entre 2015 y 2020, caracterizándose por la reducción del tamaño de los parches y un incremento en su número. No obstante, en 2024, el tamaño promedio de los parches se incrementó y la cantidad de fragmentos disminuyó, lo que podría reflejar una reconfiguración del paisaje o modificaciones en los usos del suelo. Por otro lado concuerda con **(Ortega & Arias, 2022)**, Durante los años 1982 y 2002, en la cuenca del río Cayapas, Ecuador, analizaron las repercusiones de la alteración en el uso del suelo en el paisaje del bosque húmedo. Los descubrimientos revelaron que entre 1982 y 2002, el bosque nativo sufrió una reducción del 27,53%, y para 2022, se registró una regeneración natural del 2,7%. Esta transición condujo a la desintegración del bosque húmedo, manifestada por el aumento en la cantidad de parches de 3 a 1.276 entre 1982 y 2022.



**Figura 12:** Gráfico boxplot del índice de fragmentación del distrito de Huetpetuhe.

El diagrama de caja (boxplot) en la figura 12 ilustra la distribución de los valores de los índices de fragmentación en el distrito de Huetpetuhe durante el periodo de 2015 a 2024. El índice de aislamiento (AI) muestra un intervalo de 97.8 a 99.2, con una mediana cercana de 98.4, lo que indica que la conexión entre los fragmentos del paisaje ha permanecido bastante estable. En cuanto a la densidad del borde (ED), sus valores fluctúan entre 8.94 y 24.4, con una mediana de 17.2, reflejando variaciones en la fragmentación del territorio, El tamaño medio del parche (MPS) muestra una amplia dispersión, con valores que varían entre 97.5 y 344, una mediana próxima a 134, y la presencia de valores atípicos que muestran alteraciones significativas en la estructura del paisaje. Finalmente, el número de parches (NP) exhibe la mayor variabilidad, con un intervalo de 407 a 1356, una mediana de 897 y valores extremos que indican un incremento en la fragmentación hasta 2023, seguido de una disminución en 2024, lo que podría estar vinculado a procesos de regeneración o consolidación del paisaje.



**Figura 13:** Gráfico boxplot del índice de biodiversidad del distrito de Huepetuhe.

En la figura 13, se muestra el diagrama de cajas (boxplot) donde representa la variabilidad de los índices de biodiversidad en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015-2024. El índice de Shannon (SHDI) oscila entre 0.335 y 0.61, con una mediana cercana a 0.4669, evidenciando una tendencia creciente en la diversidad del paisaje a lo largo del tiempo. De manera similar, el índice de Simpson (SIDI) fluctúa entre 0.158 y 0.339, con una mediana aproximada de 0.2515, lo que indica una mayor equitatividad en la distribución de los parches del paisaje. La variabilidad observada en ambos índices sugiere cambios en la composición del ecosistema, destacándose valores extremos que podrían estar asociados a transformaciones significativas en la estructura del paisaje, especialmente en 2024, cuando se registra el mayor incremento en la biodiversidad. Esto indica que el paisaje no solo ha ganado en diversidad, sino que también presenta una distribución más uniforme. Estos hallazgos sugieren una evolución hacia una mayor heterogeneidad ecológica, posiblemente impulsada por modificaciones en el uso del suelo o por procesos naturales de recuperación.

**Tabla 13:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del índice de fragmentación.

<b>Variables</b>	<b>Statistic</b>	<b><i>p</i>-valor</b>
Tamaño promedio del parche (MPS)	0.838	0.0415
Densidad del borde (ED)	0.958	0.757
Índice de aislamiento (AI)	0.957	0.747
Número de parches (NP)	0.957	0.750

*Dónde  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza)*

En la tabla 13, Se expone la investigación del test de normalidad de Shapiro-Wilk aplicado al índice de fragmentación del distrito de Huepetuhe en los años 2015 y 2024, mostrando que la estadística de prueba alcanzada para el tamaño medio del parche (MPS) es de 0.838, con un *p*-valor de 0.0415. En cuanto a la densidad del borde (ED), el resultado es 0.958, con un *p*-valor de 0.757; el índice de aislamiento (AI) alcanza un valor de 0.957, con un *p*-valor de 0.747; y el número de parches (NP) muestra una estadística de 0.957, con un *p*-valor de 0.750. Como el *p*-valor del MPS es menor que el umbral de significancia de 0.05, lo que indica que esta variable no se ajusta a una distribución normal. Por otro lado, las demás variables presentan *p*-valores mayores a 0.05, lo que muestra que siguen una distribución normal. En consecuencia, para el análisis del MPS es recomendable emplear métodos estadísticos no paramétricos, mientras que en el caso de las demás variables pueden aplicarse técnicas paramétricas sin riesgo significativo de sesgo en la interpretación de los resultados.

**Tabla 14:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk del índice de biodiversidad.

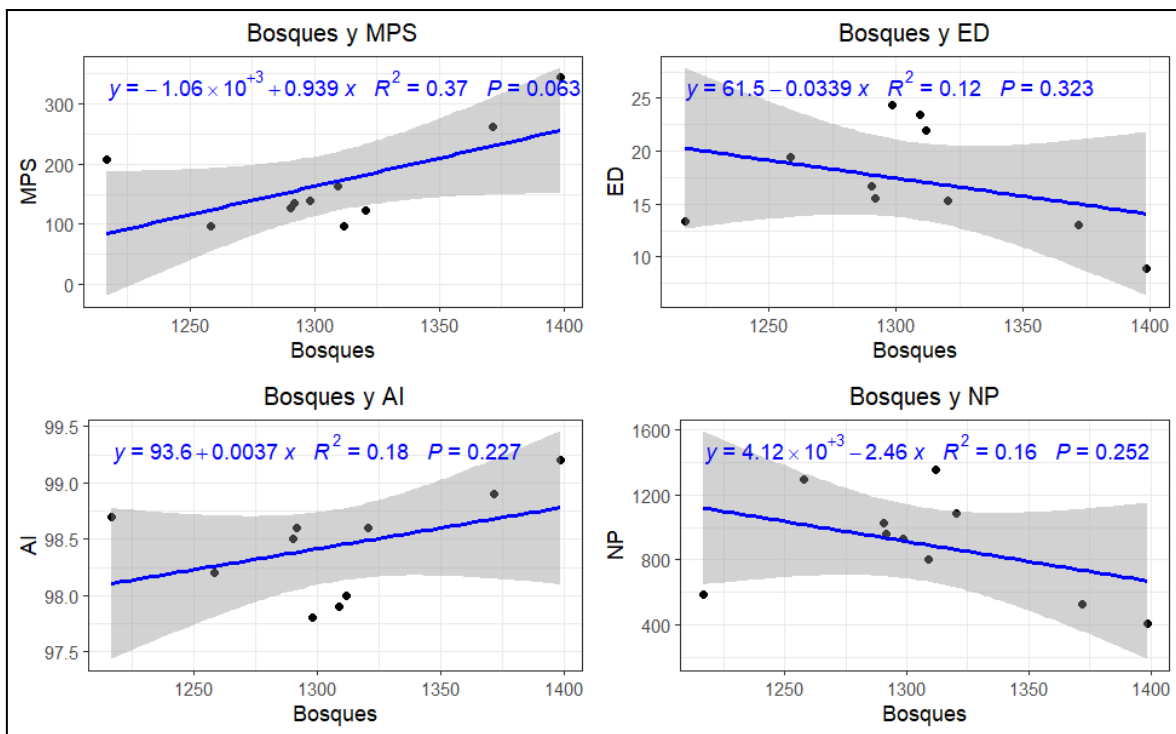
<b>Variables</b>	<b>Statistic</b>	<b><i>p</i>-valor</b>
Índice de Shannon (SHDI)	0.921	0.368
Índice de Simpson (SIDI)	0.946	0.623

*Dónde  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza)*

En la tabla 14, se muestra la evaluación de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk para el índice de biodiversidad del distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 y 2024, donde revela que la estadística de prueba del índice de Shannon (SHDI) es 0.921 con un *p*-valor de 0.368, mientras que el índice de Simpson (SIDI) presenta un valor de 0.946 y un *p*-valor de 0.623. Como ambos *p*-valores superan el umbral de significancia de 0.05, indica que ambas variables siguen una distribución normal, esto permite el uso de pruebas estadísticas paramétricas, ya que no se evidencian desviaciones significativas en la distribución de los datos.

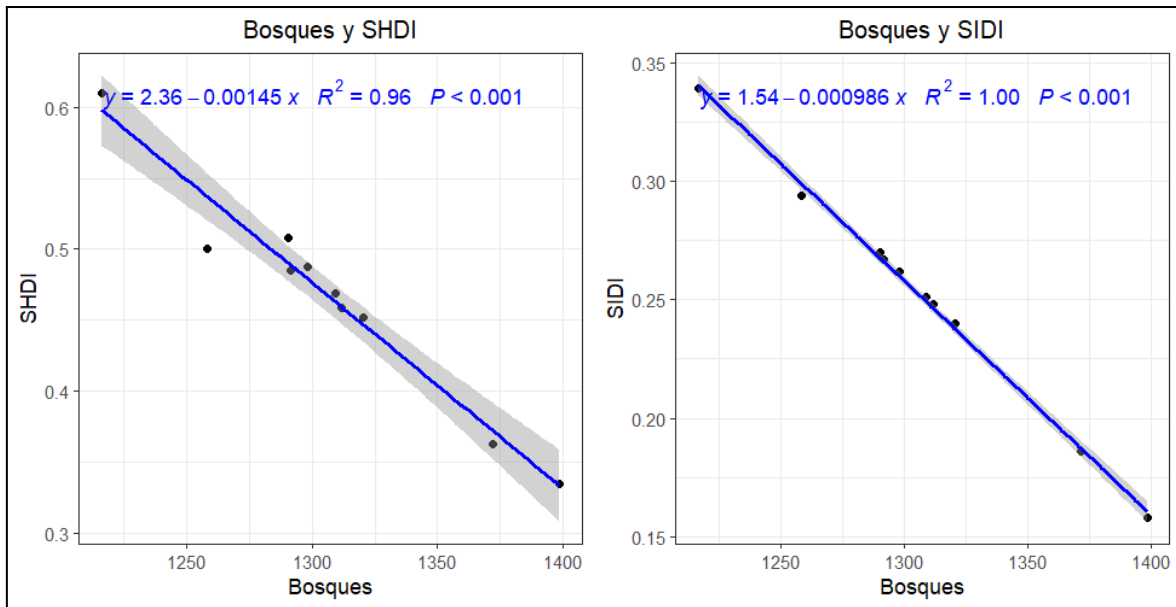
#### **4.3. EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA PÉRDIDA DE BOSQUES EN LA FRAGMENTACIÓN DEL PAISAJE DURANTE EL PERIODO 2015 - 2024.**

El estudio del período 2015-2024 revela que la disminución de áreas boscosas ha acelerado la fragmentación del paisaje, provocando una menor conectividad ecológica y una mayor dispersión de parches, lo que compromete el equilibrio del ecosistema.



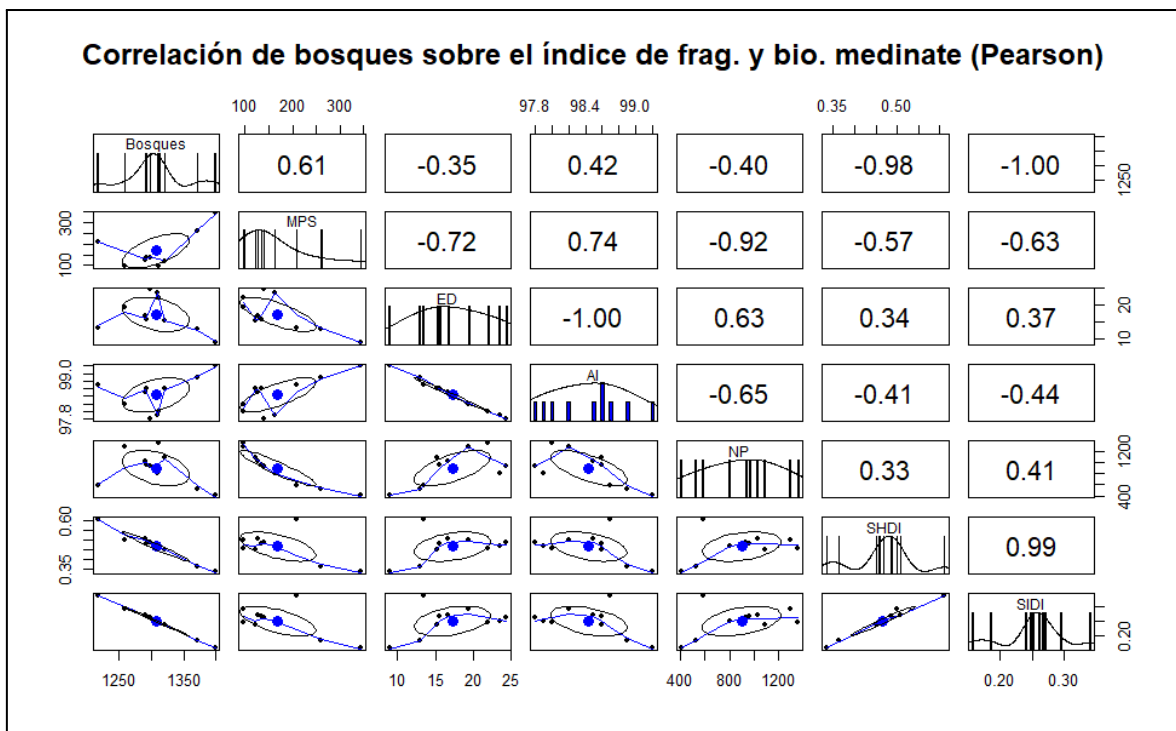
**Figura 14:** Regresión lineal simple del índice de fragmentación sobre bosques.

En la figura 14, se muestra el estudio de regresión lineal simple entre la cobertura de bosques y los índices de fragmentación del paisaje revela que el tamaño promedio del parche (MPS) presenta el coeficiente de determinación más elevado de  $R^2 = 0.37$  y un  $p$ -valor de 0.063. Esto indica una relación moderada, aunque no estadísticamente significativa al nivel de  $\alpha = 0.05$ . En cuanto a la densidad del borde (ED) el  $R^2 = 0.12$  y el  $p$ -valor = 0.323, el índice de aislamiento (AI) el  $R^2 = 0.18$  y el  $p$ -valor = 0.227 y el número de parches (NP) el  $R^2 = 0.16$  y el  $p$ -valor = 0.252, estos presentan una baja capacidad explicativa con respecto a la variable independiente bosques y no alcanzan significancia estadística. Debido a que en todos los casos los  $p$ -valores superan el umbral de 0.05, no se puede concluir que la disminución de la cobertura forestal tenga un impacto significativo en estos índices de fragmentación, aunque se percibe una tendencia en la relación con el tamaño promedio del parche (MPS). Los resultados indican que la pérdida de bosques tuvo un impacto bajo estadísticamente en la fragmentación del paisaje, ya que en todos los casos los valores de  $p$  superaron el umbral de 0.05.



**Figura 15:** Regresión lineal simple del índice de biodiversidad sobre bosques.

En la tabla 15, se muestra el estudio de regresión lineal simple entre los bosques y los índices de biodiversidad muestra una influencia significativa. En el caso del índice de Shannon (SHDI), el coeficiente de determinación  $R^2 = 0.96$ , con un *p-valor* inferior a 0.001, lo que evidencia una relación negativa fuerte y estadísticamente significativa entre la cantidad de bosques y la diversidad del paisaje. Asimismo, el índice de Simpson (SIDI) alcanza un  $R^2 = 1.00$  y un *p-valor* menor a 0.001, lo que indica una correlación prácticamente perfecta entre ambas variables. Estos hallazgos muestran que la reducción de los bosques está estrechamente vinculada con el incremento de la diversidad en el paisaje, lo que refleja un proceso de fragmentación que favorece una mayor heterogeneidad en la distribución de los parches ecológicos.



**Figura 16:** Correlación de bosques sobre los índices de fragmentación y biodiversidad, mediante Pearson.

En la figura 16, se muestra el estudio de correlación de Pearson indica que la cobertura forestal incide de manera relevante en diversos índices de fragmentación y biodiversidad. Se evidencia una relación negativa marcada entre la cantidad de bosques y los índices de biodiversidad, con coeficientes de  $-0.98$  para el índice de Shannon (SHDI) y  $-1.00$  para el índice de Simpson (SIDI), lo que sugiere que a medida que la superficie boscosa se reduce, la heterogeneidad del paisaje se incrementa. En cuanto a la fragmentación, el tamaño promedio de los parches (MPS) muestra una correlación negativa de  $-0.72$ , lo que indica que la pérdida de bosques conlleva una reducción en el tamaño de los fragmentos de hábitat. Asimismo, la densidad del borde (ED) presenta una correlación negativa fuerte de  $-1.00$ , lo que evidencia un aumento en la fragmentación a medida que disminuye la cobertura forestal. Otras métricas, como el índice de aislamiento (AI) ( $-0.65$ ) y el número de parches (NP) ( $-0.40$ ), exhiben asociaciones más débiles, lo que refleja una relación menos pronunciada. En conjunto, estos hallazgos confirman que la reducción de los

bosques afecta significativamente la estructura del paisaje y la biodiversidad. Por otro lado concuerda con (Arévalo et al., 2023), en el cauce del río Mira, en Ecuador. Los descubrimientos mostraron una disminución de 235.726,96 hectáreas de bosque (10,28%), con un índice de deforestación anual del 0,44%. Además, se registró un incremento en la cantidad de parches (de 1.249 a 1.741) y su densidad (de 0,23 a 0,33), lo que señala un incremento en la fragmentación del bosque autóctono a causa del crecimiento agrícola y la deforestación. Principalmente se ubica en la cuenca central del río Mira, zona que preserva bosque autóctono y otras especies forestales en un total de 104.747 hectáreas (19,6%). Según el modelo de distribución, la pérdida de hábitat para *D. elegans* alcanzó las 33.859,33 hectáreas (32,32%), lo que demuestra la susceptibilidad de la especie ante la disminución del tamaño de los parches, los efectos de borde y el aislamiento del hábitat.

#### **4.4. PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS**

##### **4.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1.**

###### **Formulación de la prueba de hipótesis:**

**Hipótesis alternativa (HA):** La pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024, es descendente.

**Hipótesis nula (Ho):** La pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024, es ascendente.

###### **Nivel de significancia:**

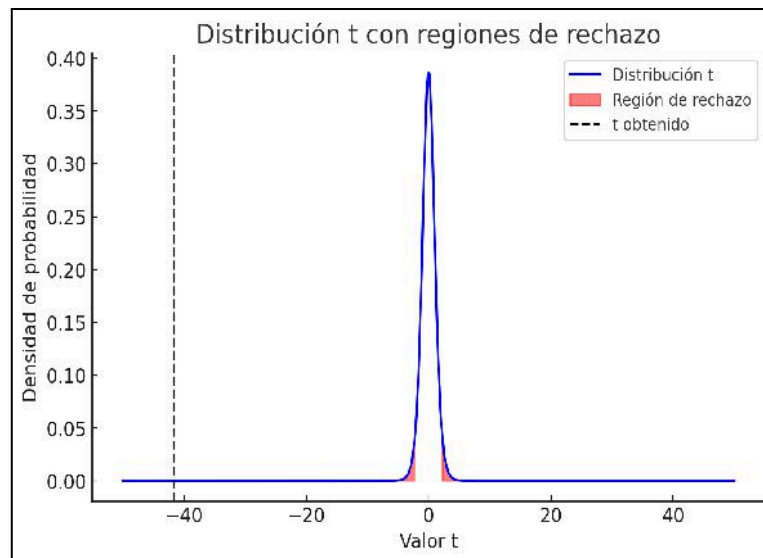
Se establece un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza).

###### **Regla de decisión:**

Si  $p \leq 0.05$ , se rechaza  $H_0$ .

Si  $p > 0.05$ , no se rechaza  $H_0$ .

###### **Interpretación:**



**Figura 17:** Distribución de t-test de bosques sobre los periodos.

En la figura 17, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el estadístico t obtenido es  $= -41.641$  que es la línea negra punteada y esta muy lejos en la cola izquierda, el p-valor  $= 1.324e-11$  adquirido es considerablemente inferior al nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se adopta la hipótesis alternativa ( $H_A$ ). Esto indica que la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015-2024, según las imágenes satelitales, ha sido significativamente descendente. Además, el intervalo de confianza del 95%  $(-751.5217 -674.0765)$  confirma que la diferencia media es negativa, respaldando la tendencia a la disminución en la pérdida de bosques.

#### 4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2.

**Hipótesis alternativa ( $H_A$ ):** La fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024, es significativa.

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** La fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024, no es significativa.

#### **Nivel de significancia:**

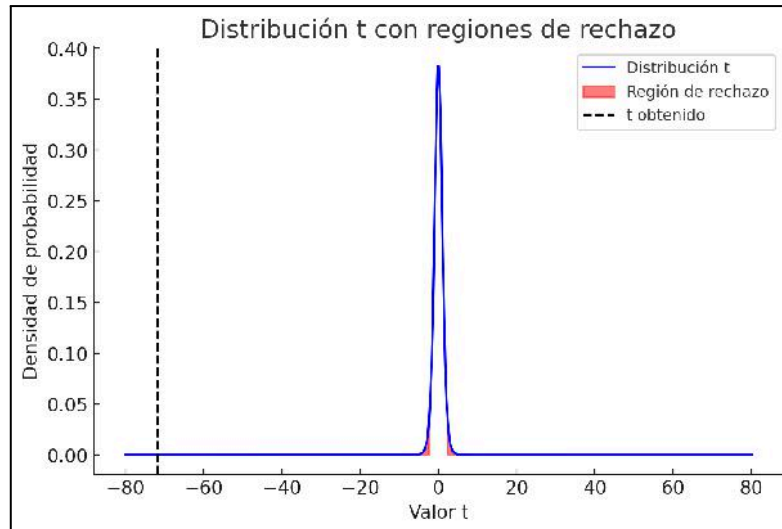
Se establece un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza).

#### **Regla de decisión:**

Si  $p \leq 0.05$ , se rechaza  $H_0$ .

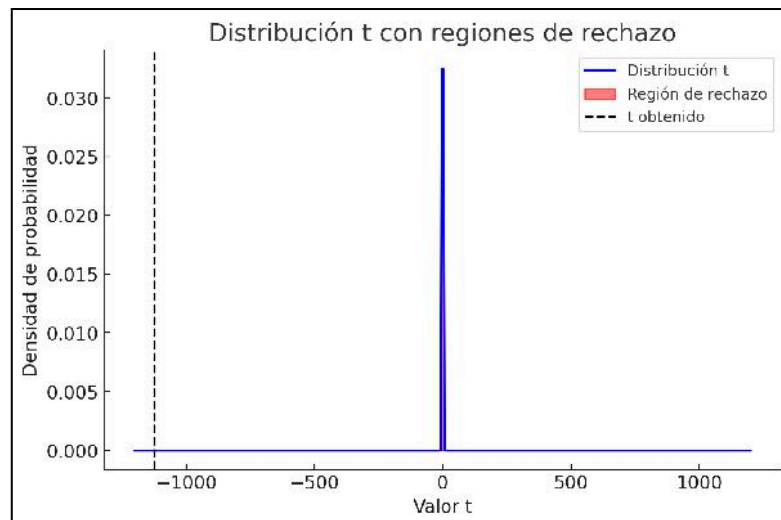
Si  $p > 0.05$ , no se rechaza  $H_0$ .

### Interpretación:



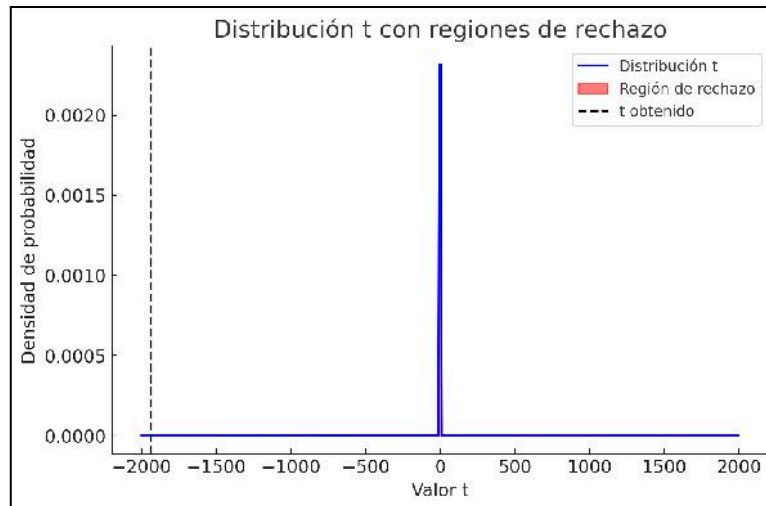
**Figura 18:** Distribución de t-test de MPS sobre los periodos.

En la figura 18, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el estadístico t obtenido es  $-71.743$  que es la línea negra punteada y esta muy lejos en la cola izquierda, fuera de las áreas sombreadas de color rojo y el  $p$ -valor  $= 1.004e-13$  obtenido es significativamente menor que el nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula ( **$H_0$** ) y se acepta la hipótesis alternativa ( **$H_A$** ). Esto indica que la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015-2024 es significativa. Además, el intervalo de confianza del 95%  $(-1908.725, -1792.035)$  confirma que la diferencia media es negativa, lo que sugiere una disminución en el tamaño promedio de los parches (MPS) a lo largo del tiempo, respaldando la existencia de una fragmentación considerable en el paisaje.



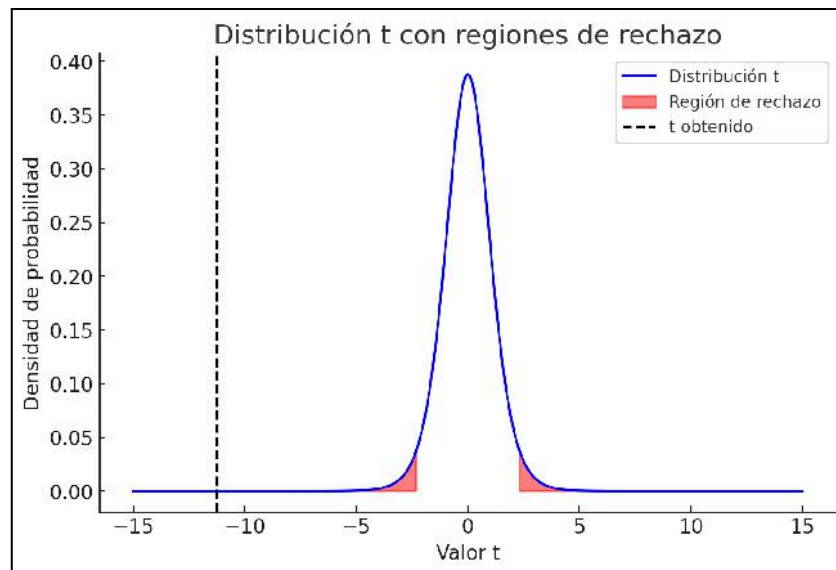
**Figura 19:** Distribución de t-test de ED sobre los periodos.

En la figura 19, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y la puntuación estadística t obtenida es = -1123.6, representando una línea negra punteada muy larga en la cola izquierda, más allá de las áreas sombreadas de tonalidad roja. El p-valor obtenido es =  $2.2e-16$ , lo que es significativamente inferior al nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se asume la hipótesis alternativa ( $H_A$ ). Esto indica que entre 2015 y 2024, la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe ha sido significativa. Además, el intervalo de confianza del 95% (-2006.307, -1998.245) confirma que la diferencia media es negativa, lo que señala una significativa disminución en la densidad del borde (ED) a lo largo del tiempo, lo que respalda una alteración notable del paisaje.



**Figura 20:** Distribución de t-test de AI sobre los periodos.

En la figura 20, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el estadístico t obtenido es  $= -1938.8$  que es la línea negra punteada y esta muy lejos en la cola izquierda, fuera de las áreas sombreadas de color rojo y el  $p\text{-valor} = 2.2e-16$  obtenido es mucho menor que el nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , La hipótesis nula ( $H_0$ ) es descartada y se adopta la hipótesis alternativa ( $H_A$ ). Esto señala que durante el periodo 2015-2024, la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe ha sido notable. Adicionalmente, el intervalo de confianza del 95%  $(-1923.302, -1918.818)$  confirma que la media de la diferencia es negativa, lo que señala una variación notable en el índice de aislamiento (AI) a lo largo del tiempo, lo que muestra un proceso de fragmentación del paisaje significativo en el área estudiada. Esto demuestra un proceso de fragmentación del paisaje significativo en el área examinada.



**Figura 21:** Distribución de t-test de NP sobre los periodos.

En la figura 21, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el estadístico t obtenido es  $= -11.23$  que es la línea negra punteada y esta muy lejos en la cola izquierda, fuera de las áreas sombreadas de color rojo y el  $p\text{-valor} = 1.352e-06$  obtenido es significativamente menor que el nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**) y se acepta la hipótesis alternativa (**H<sub>A</sub>**). Esto señala que durante el periodo 2015-2024, la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe fue notable, además, el intervalo de confianza del 95%  $(-1348.6213, -896.3787)$  confirma que la diferencia media es negativa, lo que sugiere una reducción notable en el número de parches (NP) a lo largo del tiempo, evidenciando cambios significativos en la estructura del paisaje.

#### 4.4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 3.

**Hipótesis alternativa (H<sub>A</sub>):** La pérdida de bosques influye en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024.

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La pérdida de bosques no influye en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024.

**Nivel de significancia:**

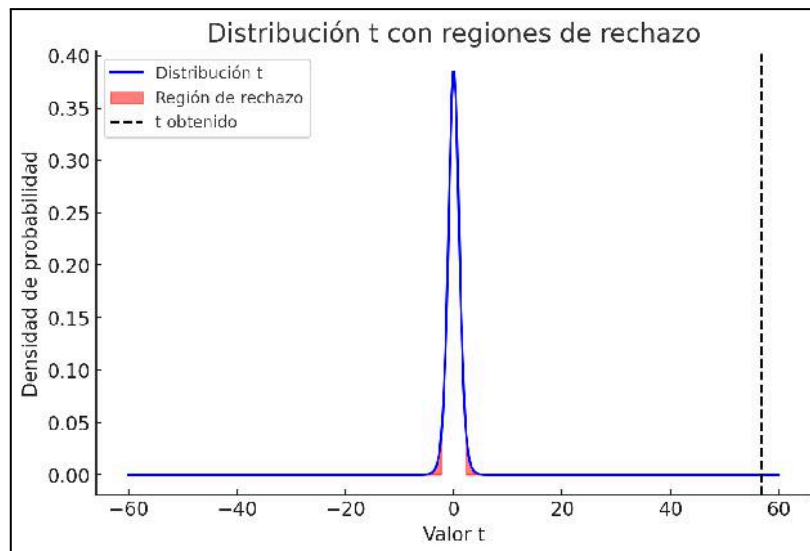
Se establece un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  (95% de confianza).

**Regla de decisión:**

Si  $p \leq 0.05$ , se rechaza  $H_0$ .

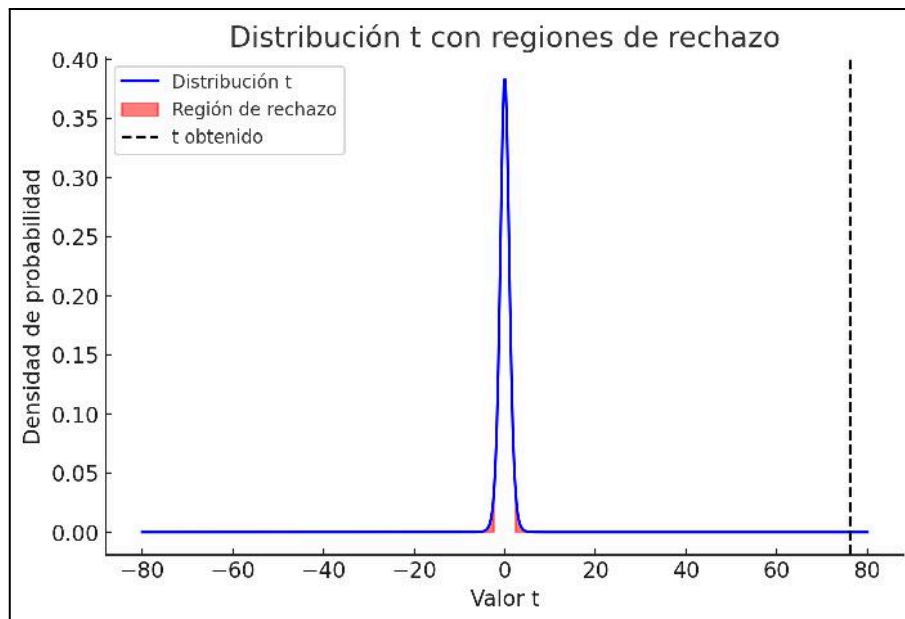
Si  $p > 0.05$ , no se rechaza  $H_0$ .

**Interpretación:**



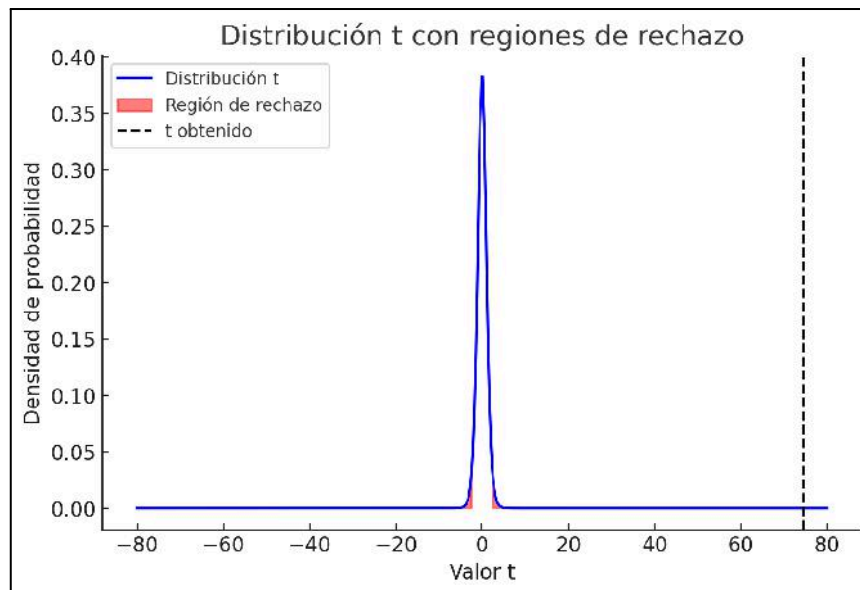
**Figura 22:** Distribución de t-test de bosques sobre MPS.

En la figura 22, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el t-valor obtenido es  $= 56.749$ , que representa una línea negra punteada y muy larga en la cola derecha, más allá de las zonas sombreadas de color rojo. El p-valor obtenido es significativamente inferior al nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**) y se acepta la hipótesis alternativa (**H<sub>A</sub>**). Esto indica que la pérdida de bosques influye significativamente en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015-2024. Además, el intervalo de confianza del 95% (1092.234, 1182.928) confirma que la diferencia media entre las variables Bosques y el tamaño promedio de los parches (MPS) es positiva, lo que sugiere un aumento considerable en la fragmentación del paisaje asociado con la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe.



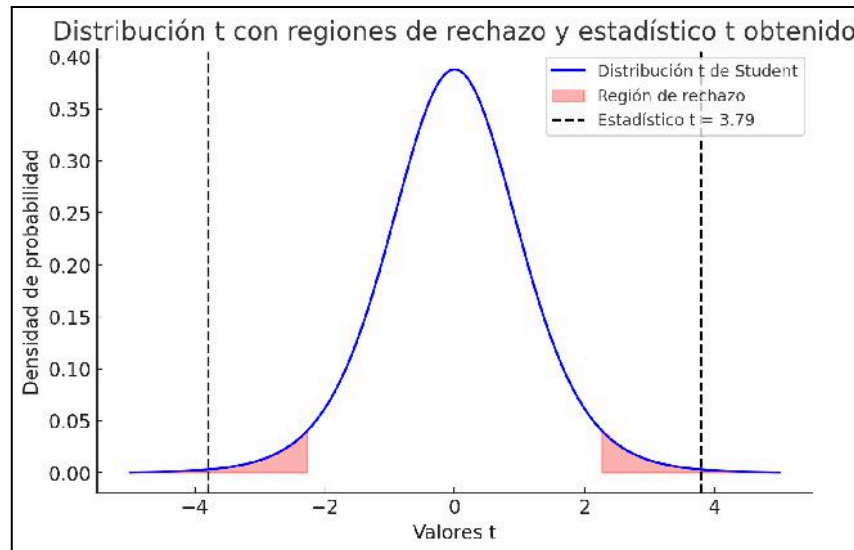
**Figura 23:** Distribución de t-test de bosques sobre ED.

En la figura 23, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y La cifra estadística t obtenida es = 76.215, representando la línea negra punteada con mucha legibilidad en la cola derecha, más allá de las zonas sombreadas de color rojo. El p-valor obtenido es considerablemente inferior al nivel de significancia establecido  $\alpha = 0.05$ , se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se adopta la hipótesis alternativa ( $H_A$ ). Esto indica que la pérdida de bosques influye significativamente en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015-2024. Adicionalmente, el intervalo de confianza del 95% (1251.204, 1327.750) corrobora que la variación media entre las variables Bosques y la densidad del borde (ED) es positiva, esto indica una relación evidente entre la disminución de zonas boscosas y el incremento de la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe.



**Figura 24:** Distribución de t-test de bosques sobre AI.

En la figura 24, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el estadístico t obtenido es  $= 74.396$  que es la línea negra punteada y esta muy lejos en la cola derecha, fuera de las áreas sombreadas de color rojo y el  $p\text{-valor} = 7.245e-14$  es considerablemente menor que el nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , se rechaza la hipótesis nula (**H<sub>0</sub>**) y se acepta la hipótesis alternativa (**H<sub>A</sub>**). Esto indica que la pérdida de bosques influye significativamente en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015-2024. Además, el intervalo de confianza del 95% (1171.521, 1245.000) confirma que la diferencia media entre las variables Bosques y el índice de aislamiento (AI) es positiva, lo que sugiere que la reducción del área boscosa está asociada con un aumento en la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe.



**Figura 25:** Distribución de t-test de bosques sobre NP.

En la figura 25, se muestra la prueba t mediante la distribución t que está representada de color azul con  $df = 9$  grados de libertad y el estadístico t obtenido es  $t = 3.79$  que es la línea negra punteada y esta muy lejos en la cola derecha, y un p-valor de 0.004259 inferior al nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ , se descarta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se adopta la hipótesis alternativa ( $H_A$ ), lo que señala que hay una discrepancia notable entre la desaparición de bosques y la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024. El intervalo de confianza del 95% (165.3966, 654.0052) confirma que la diferencia media entre las variables Bosques y el número de parches (NP) es positiva, esto indica que la disminución de la zona boscosa se relaciona con un incremento en la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Las imágenes satelitales y el análisis de la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, durante el periodo 2015–2024, evidencian una disminución en la cobertura forestal, lo que ha intensificado la fragmentación del paisaje. Aunque la relación entre ambos factores no es totalmente lineal, se observa una disminución en el tamaño de los fragmentos forestales y un aumento en su aislamiento, lo que amenaza la conectividad ecológica y la estabilidad del ecosistema. Este escenario pone de manifiesto la necesidad apremiante de implementar acciones de conservación y restauración para mitigar los impactos negativos de la deforestación.

**SEGUNDA:** La pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024 muestran una considerable reducción, la cual se expresa mediante una regresión  $R^2 = -0.714$  que es inversa, lo que evidencia que mientras los periodos van pasando los bosques van perdiendo o reduciendo su área significativamente, estos hallazgos evidencian un proceso acelerado de la deforestación, resaltando la urgencia de aplicar medidas de conservación en el distrito.

**TERCERA:** La evolución de la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe entre 2015 y 2024 muestra una intensificación de la fragmentación, evidenciada por la disminución del tamaño promedio de los parches (MPS) y el aumento en la densidad de bordes (ED). Aunque el índice de aislamiento (AI) se mantiene estable, indicando cierta conectividad entre los fragmentos, la diversidad del paisaje (SHDI) es moderada y la distribución de los fragmentos es homogénea (SIDI). El número de parches (NP) aumentó

hasta 2023, seguido de una disminución en 2024, lo que podría reflejar procesos de regeneración o fusión de fragmentos, la fragmentación del paisaje en Huepetuhe ha aumentado en los últimos años, con consecuencias para la biodiversidad y la conectividad ecológica.

**CUARTA:** La pérdida de bosques en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024 con una influencia moderada en algunos índices, el tamaño promedio de los parches (MPS) muestra un  $R^2$  de 0.37, indicando que el 37% de su variabilidad que se asocia con la reducción de bosques, lo que sugiere una mayor formación de fragmentos grandes, La densidad del borde (ED) muestra un  $R^2$  de 0.12, lo que refleja una influencia mínima, mientras que el índice de aislamiento (AI) con un  $R^2$  de 0.18 señala un ligero impacto en la conectividad de los fragmentos, mientras que el número de parches (NP) muestra un  $R^2$  de 0.16, reflejando un ligero aumento en la fragmentación, aunque la pérdida de bosques contribuye a la fragmentación, su impacto es moderado.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Para el Ministerio del Ambiente (MINAM), reforzar las estrategias de conservación forestal en Huepetuhe mediante un monitoreo satelital constante. Esto facilita la detección temprana de cambios en la cobertura boscosa y permitiría tomar medidas preventivas frente a la deforestación. Además, es clave fomentar incentivos para la reforestación y el aprovechamiento sostenible del territorio, involucrando a las comunidades en la recuperación de los ecosistemas.

**SEGUNDA:** El Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) debe fortalecer la supervisión de actividades que afectan los bosques y promover un manejo forestal sostenible. Se recomienda intensificar campañas de educación ambiental para concienciar sobre la importancia de la conectividad ecológica y la fragmentación del paisaje. Asimismo, es fundamental optimizar la gestión de permisos forestales y priorizar la restauración en zonas degradadas.

**TERCERA:** El Gobierno Regional de Madre de Dios tiene la obligación de poner en marcha programas de ordenamiento territorial orientados a preservar zonas de gran biodiversidad y a fomentar modelos de desarrollo sostenible. Es necesario fortalecer la cooperación entre instituciones para ejecutar proyectos de reforestación y conservación, así como gestionar recursos financieros que permitan mitigar la deforestación y restaurar los ecosistemas afectados.

**CUARTA:** Para el distrito de Huepetuhe, es esencial fomentar proyectos de reforestación con la participación de la comunidad. Además, es esencial reforzar la vigilancia ambiental

con el apoyo de las autoridades locales y organizaciones civiles. Promover actividades de sostenibilidad económica, como la agroforestería y el turismo ecológico, puede ayudar a disminuir la presión sobre los bosques y ofrecer alternativas económicas a los residentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arana, L. (2022, 02 02). *Evaluación de la pérdida en la cobertura boscosa y su uso actual del suelo en el distrito Fernando Lores, provincia de Maynas, región Loreto, periodo 2012-2018*. Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4815>
- Arévalo, C., Jácome, G., Ortega, S., Rosales, O., & Rodríguez, J. (2023, January 17). *Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de Dipsas elegans en el norte de Ecuador*. RUA. Retrieved August 23, 2024, from <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/131133>
- Caicedo, M., Vallejo, M., & Carrasco, F. (2019, Dic 16). *La pobreza como determinante del consumo doméstico de leña y su efecto en los bosques del Ecuador*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002019000200205&script=sci\\_arttext&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002019000200205&script=sci_arttext&tlng=en)
- Calderón, J., & Benavides, A. (2022, 02 18). *Deforestación y fragmentación en las áreas más biodiversas de la Cordillera Occidental de Antioquia (Colombia)*. SciELO Colombia. Retrieved August 23, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-53762022000100210&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-53762022000100210&script=sci_arttext)
- Cerón, L., Miranda, N., & Celis, E. (2021, September 20). *Deforestación por actividad minera en el departamento de Madre de Dios-Perú para los años 2000 y 2017*. Revistas científicas de la UNALM. Retrieved August 23, 2024, from <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1748>
- Cisneros, C., Calahorrano, J., & Manzano, M. (2024, Mar 19). *Análisis espacial y temporal de incendios forestales en el Ecuador utilizando datos de sensores remotos*. SciELO Colombia. Retrieved August 23, 2024, from

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392024000100201&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-07392024000100201&script=sci_arttext)

De Los Ríos, R. (2022, 07 06). *Análisis multitemporal por pérdida de cobertura boscosa 2005 - 2020 por palma aceitera para minimizar la deforestación Ucayali 2021*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88702>

Dourojeanni, M. (2023, 06 30). *Interpretaciones sobre la deforestación en áreas naturales protegidas en la Amazonía del Perú*. SciELO Perú. Retrieved August 23, 2024, from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2709-36892023000100010&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2709-36892023000100010&script=sci_arttext)

Estrada, F., Cruz, G., Ochoa, S., & Teodoro, J. (2023, Jun 12). *Cartografía digital de suelos con regresión-Kriging y datos de sensores remotos*. SciELO México. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792023000100102&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792023000100102&script=sci_arttext)

Flores, N. (2019, 04 12). *Evaluación de las unidades de vegetación mediante sistemas de información geográfica y teledetección en Pantanos de Villa, Chorrillos - Lima*. UCSS Digital Institutional Repository. Retrieved August 23, 2024, from <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/706>

García, J., & Sánchez, P. (2020, Dic 12). *Diseño teórico de la investigación: instrucciones metodológicas para el desarrollo de propuestas y proyectos de investigación científica*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642020000600159&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642020000600159&script=sci_arttext)

- Huacac, J. (2022, August 31). *Evaluación de la deforestación por minería de oro mediante imágenes de satélites SAR en la microcuenca del río Pariamanu - Madre de Dios, Periodos 2010-2020*. DSpace Home. Retrieved August 23, 2024, from <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/845>
- Huchin, S., Navarro, A., Ellis, E., & Hernández, I. (2023, 04 14). *Deforestación en el municipio de Bacalar, Quintana Roo, México durante el período 1993-2017*. SciELO México. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712022000300105&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-04712022000300105&script=sci_arttext)
- Janampa, S., & Ponce, J. (2023, January 12). *Repositorio Continental: Análisis multitemporal de la deforestación por imágenes satelitales en el distrito de Pangoa, Junín desde el año 2000 al 2020*. Repositorio Institucional Continental. Retrieved August 23, 2024, from <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12239>
- Jensen, M. (2021, 08 16). *Transformación de los sistemas alimentarios en Chile: cambio en el uso de suelo y comercio internacional*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-37692021000200061&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-37692021000200061&script=sci_arttext)
- Lara, N. (2024, February 28). *Deforestación y desigualdad de la tierra: un análisis econométrico en el posconflicto colombiano (2015-2019)*. SciELO Colombia. Retrieved August 23, 2024, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-47722023000200203&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-47722023000200203&script=sci_arttext)
- Machado, A., & Armendariz, R. (2018, Jun 08). *Método inductivo y su refutación deductista*. SciELO Cuba. Retrieved August 23, 2024, from

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442018000300117&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442018000300117&script=sci_arttext&tlng=en)

Manríquez, H., Mansilla, P., & Moreira, A. (2019, Dic 12). *Hacia una conservación integrada del paisaje biogeocultural de Atacama*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from

[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-26812019000300141&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0719-26812019000300141&script=sci_arttext)

Marchant, C., Riesco, M., & Hernández, Y. (2023, 08 16). *Crecimiento y fragmentación del periurbano valdiviano. Efectos del urbanismo neoliberal en una ciudad intermedia del sur de Chile*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from

[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612023000200009&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612023000200009&script=sci_arttext)

Márquez, M., Vazquez, P., & González, D. (2022, 06 14). *Configuración histórico-ambiental de las unidades de paisaje en la Cuenca Inferior del Río Chubut*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from

[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022022000300243&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022022000300243&script=sci_arttext)

Martínez, B. (2022, 09 14). *Cálculo de indicadores de estructura de paisaje utilizando el software Fragstats y estrategias de mejora de conectividad y patrones de fragmentación en el Distrito Metropolitano de Quito*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. Retrieved August 23, 2024, from

<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23316>

Martínez, S., Sánchez, R., & Hoyos, G. (2020, 06 15). *Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México: Caso oriente de la Zona Metropolitana de Toluca, México*. SciELO (Argentina). Retrieved August 23, 2024, from

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652020000100007&script=sci\\_ar  
ttext](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1852-42652020000100007&script=sci_ar<br/>ttext)

Mendoza, S., & Rupa, M. (2022, 15 08). *Pérdida de cobertura vegetal a causa de los incendios forestales durante 2019 – 2021 en la localidad de San Jerónimo, Cusco*. Repositorio de la Universidad César Vallejo. Retrieved August 23, 2024, from <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91340>

Miranda, A., Lara, A., & Altamirano, A. (2018, 06 14). *Monitoreo de la superficie de los bosques nativos de Chile: un desafío pendiente*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002018000200265&script=sci\\_artte  
xt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002018000200265&script=sci_artte<br/>xt)

Morera, C., Sandoval, L., & Alfaro, L. (2021, 06 14). *Evaluación de corredores biológicos en Costa Rica: estructura de paisaje y procesos de conectividad-fragmentación*. SciELO. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632021000100106&script=sci\\_ar  
ttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-25632021000100106&script=sci_ar<br/>ttext)

Navarte, G., & Mamani, M. (2022, 01 24). *Análisis espacio temporal del uso del suelo en concesiones de castaña mediante la aplicación de imágenes del satélite Landsat en la microcuenca Manuripe - Madre de Dios, periodos 2004 - 2020*. Facultad de Ingeniería - UNAMAD. <https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/780>

Nogué, J., Eugenio, J., & Sala, P. (2019, 05 18). *La implementación de indicadores de lo intangible para catalogar el paisaje percibido. El caso del Observatorio del Paisaje de Cataluña*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022019000100075&script=sci\\_artte  
xt&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022019000100075&script=sci_artte<br/>xt&tlng=pt)

- Orellana, A. (2020, May 16). *Conformación metropolitana desde la fragmentación. el proceso de conurbación del Gran la Serena*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-36072020000100058&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-36072020000100058&script=sci_arttext)
- Ortega, J., & Arias, D. (2022, January 31). *Análisis de los efectos del cambio de uso de suelo en el paisaje del bosque húmedo: una visión al año 2022 en la cuenca del río Cayapas-Ecuador | SATHIRI*. revistas upec. Retrieved August 23, 2024, from <https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/1116>
- Quispe, E. (2023, 08 12). *Análisis espacial de cuerpos de agua generados por la deforestación en la zona la Pampa para el año 2022, Madre de Dios*. Ingeniería Forestal. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/83f11e65-ec91-45b7-aec2-1820ba4f0065>
- Rodríguez, A., Alatorre, L., & Bravo, L. (2021, May 06). *Análisis de la evolución espacio-temporal del uso de suelo urbano en la metrópolis de Chihuahua*. SciELO México. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212021000100001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212021000100001&script=sci_arttext)
- Rodríguez, J., & Leiton, M. (2021, 10 25). *Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales*. SciELO México. Retrieved August 23, 2024, from [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532021000100307&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-34532021000100307&script=sci_arttext)
- Salizzi, E. (2021, April 1). *Agronegocio, deforestación y disputas en torno al Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de la provincia de Córdoba (Argentina)*. SciELO Colombia. Retrieved August 23, 2024, from

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-84182020000200172&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-84182020000200172&script=sci_arttext)

Valle, D., Quiñones, T., & Fuente, D. (2023, 10-31). *Evaluación de la deforestación (2000-2020) en concesiones forestales peruanas en la provincia de Tambopata (Madre de Dios) usando plataformas de datos abiertos*. SciELO. Retrieved August 23, 2024, from

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2709-36892023000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2709-36892023000200011&script=sci_arttext)

Vergara, G., & Ibarra, J. (2019, 12-17). *Paisajes en transición: gradientes urbano-rurales y antropización del bosque templado andino del sur de Chile*. SciELO Chile. Retrieved August 23, 2024, from

[https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022019000300139&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34022019000300139&script=sci_arttext)

Villanueva, H., Tovar, R., & Vargas, R. (2021, Abr 21). *Classification of aquifers in the Mina field, Nuevo Leon, using geographic information systems*. SciELO México. Retrieved August 23, 2024, from

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222019000300096&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-24222019000300096&script=sci_arttext)

## ANEXOS

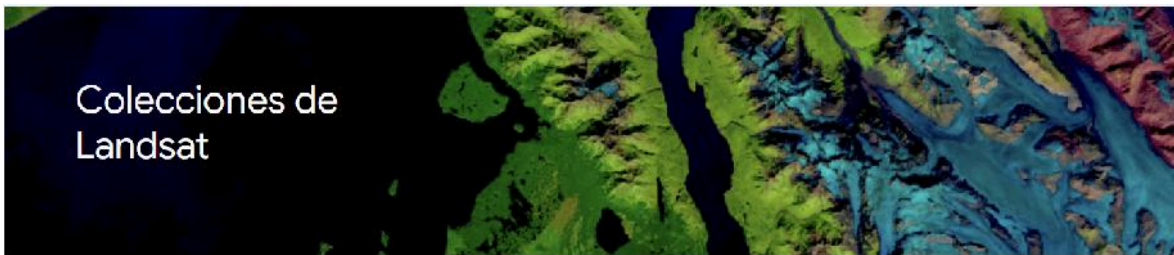
### Anexo 01: Matriz de consistencia.

“Análisis de la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cómo es la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024?.</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Analizar la pérdida de bosques mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La pérdida de bosques detectada mediante imágenes satelitales y fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe, Madre de Dios, periodo 2015 -2024, es estadísticamente descendente.</p>	<p><b>Variable Independiente:</b></p> <p>Pérdida de bosques.</p>	<p><b>Área</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Km<sup>2</sup></li> <li>• Ha</li> <li>• %</li> </ul>	<p><b>Softwares</b></p> <p>R-Studio (v4.3.1)</p> <p>Software QGis (v3.26.17)</p>	<p>Información de las imágenes satelitales LandSat-8</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuanto es la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024?</li> <li>• ¿Cuanto es la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo</li> </ul>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimar la pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 - 2024.</li> <li>• Determinar la fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024.</li> <li>• Determinar la influencia de la pérdida de bosques en la fragmentación del</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La pérdida de bosques en el distrito de Huepetuhe mediante imágenes satelitales durante el periodo 2015 es descendente.</li> <li>• La fragmentación del paisaje en el distrito de Huepetuhe durante el periodo 2015 - 2024, es significativa.</li> <li>• La pérdida de bosques influye en la</li> </ul>	<p><b>Variable Dependiente:</b></p> <p>Fragmentación del paisaje.</p>	<p><b>Índices de Fragmentación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Número de Parches (NP).</li> <li>- Tamaño</li> <li>- Promedio del Parque (MPS).</li> <li>- Índice de Forma (SHAPE).</li> <li>- Índice de Conectividad (CONNECT).</li> <li>- Índice de Diversidad de</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descriptivo y correlacional.</li> <li>-Aplicada de enfoque cuantitativo.</li> </ul> <p><b>Diseño de Investigación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No Experimental</li> </ul> <p><b>Método</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inductivo.</li> <li>- Deductivo.</li> </ul>	

<p>2015 - 2024?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿De qué manera la pérdida de bosques influye en la fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024?</li> </ul>	<p>paisaje durante el periodo 2015 - 2024.</p>	<p>fragmentación del paisaje durante el periodo 2015 - 2024.</p>		<p>Shannon (SHDI). - Índice de Agregación (AI)</p>		
--	--	--	--	--	--	--

## Anexo 02: Descarga de imágenes satelitales de Google Earth Engine.



El [Programa Landsat](#) del [USGS/NASA](#) observa la Tierra de forma continua desde 1972. Los datos espectrales y térmicos que proporcionan los sensores de Landsat son un componente esencial de muchos proyectos de investigación y supervisión de la Tierra.



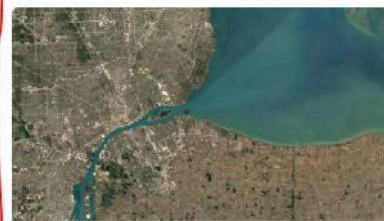
Landsat 9 OLI-2/TIRS-2

2021 presente



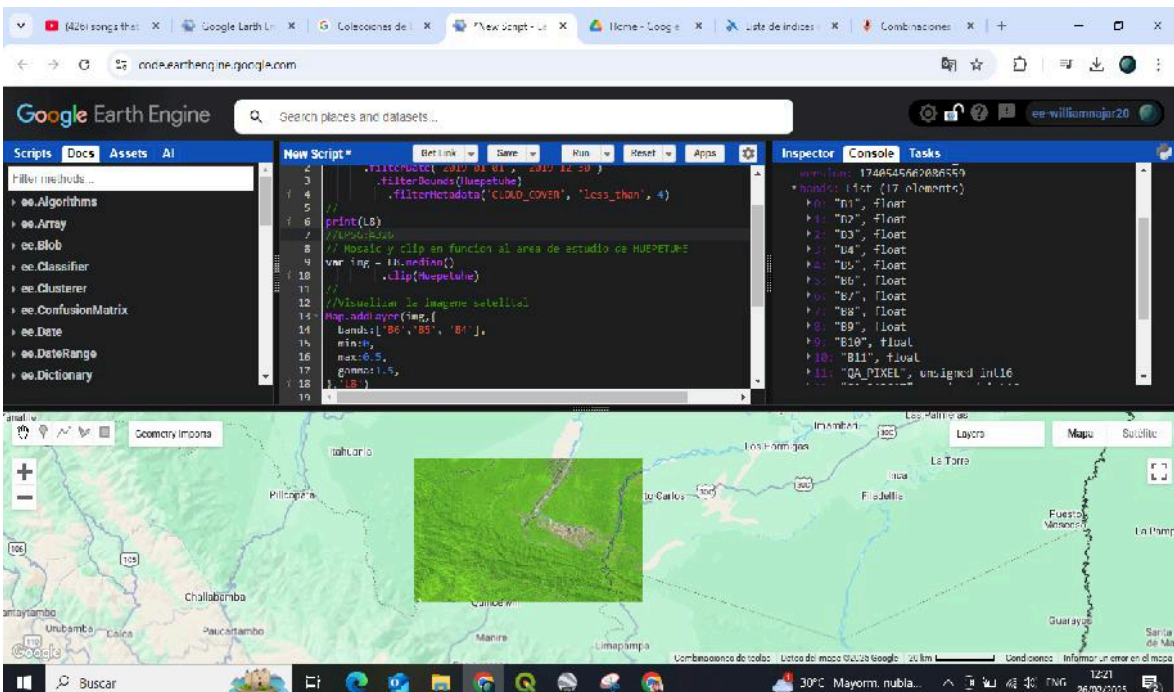
OLI/TIRS de Landsat 8

2013 presente



ETM+ de Landsat 7

1999 2021



Google Earth Engine

Search places and datasets...

Scripts Docs Assets AI

Filter methods... ee.Algorithms ee.Array ee.Blob ee.Classifier ee.Clusterer ee.ConfusionMatrix ee.Date ee.DateRange ee.Dictionary

```

1 // Filtrado de 2010 al 2019
2 ee.FilterDate(2010, 2019)
3 .filterBounds(Lakepetcote)
4 .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 4)
5
6 print(L8)
7 // USGS/ESA
8 // Mosaic y clip en función al área de estudio de HUERFANA
9 var img = ee.ImageCollection()
10 .clip(Lakepetcote)
11
12 // Visualizar la imagen satelital
13 Map.addLayer(img, {
14   bands: ['B2', 'B3', 'B4'],
15   minis: 0,
16   maxis: 255,
17   gamma: 1.5,
18   id: 'L8'
19 })

```

Inspector Console Tasks

ee.Image: 17485456268559

Bands: List (17 elements)

- B1, float
- B2, float
- B3, float
- B4, float
- B5, float
- B6, float
- B7, float
- B8, float
- B9, float
- B10, float
- B11, float
- QA\_PIXEL, unsigned int16

Geometry imports

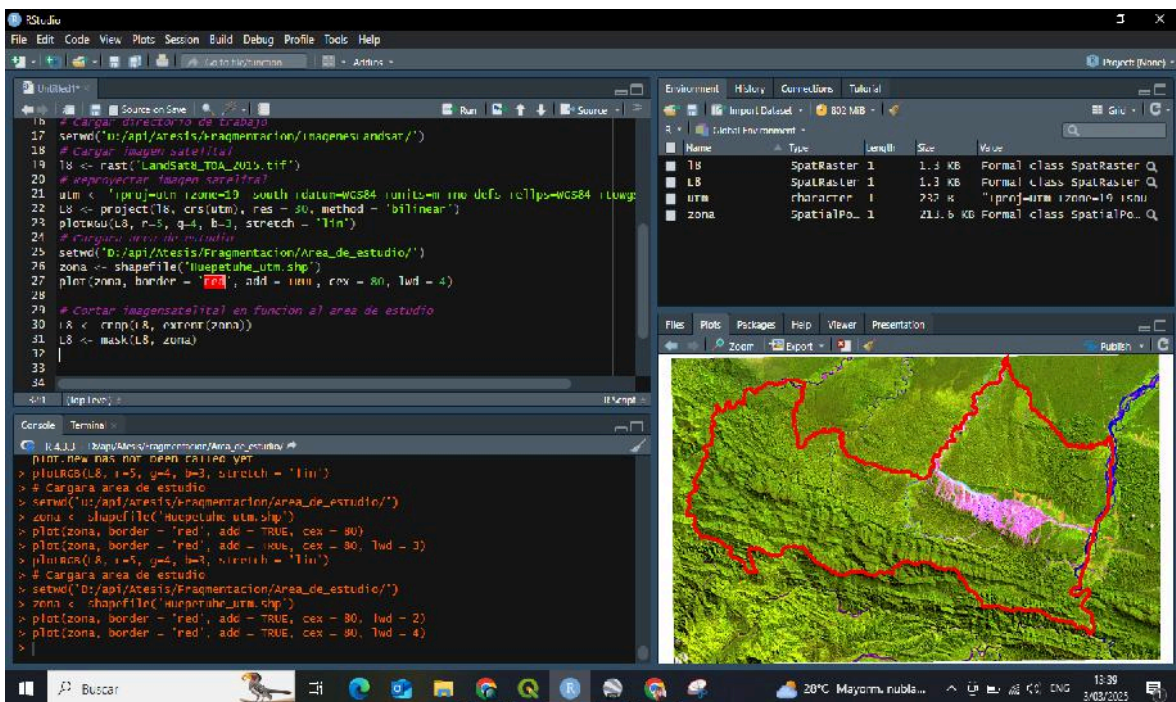
Mapa

Buscar

30°C Mayorm. nubla...

12:21 26/02/2023

### Anexo 03: Importación de las imágenes satelitales a RStudio.



The screenshot shows RStudio with the following R code in the script editor:

```

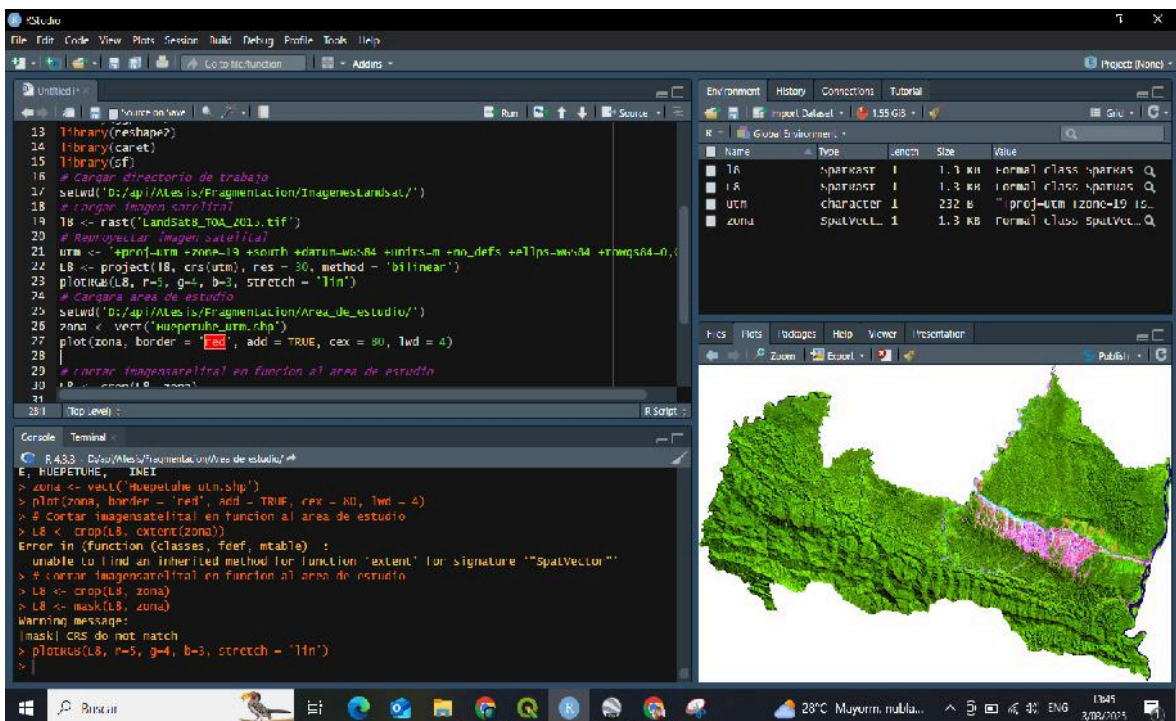
16 # Cargando directorio de trabajo
17 setwd("D:/api/Atesis/Fragmentacion/imagenesandsat/")
18 # Cargar imagen satelital
19 L8 <- rast("LandSat8_TOA_2015.tif")
20 # Proyeccion de la imagen
21 utm <- proj4utm(utm=19, south, datum=WGS84, units=m, no_defs, ellps=WGS84, long=
22 L8 <- project(L8, crs(utm), res = 30, method = "bilinear")
23 plot(L8, r=5, g=4, b=3, stretch = "lin")
24 # Cargando area de estudio
25 setwd("D:/api/Atesis/Fragmentacion/Area_de_estudio/")
26 zona <- shapefile("Huepetuhe_utm.shp")
27 plot(zona, border = "red", add = TRUE, cex = 80, lwd = 4)
28
29 # Cortar imagen satelital en funcion al area de estudio
30 L8 <- crop(L8, extent(zona))
31 L8 <- mask(L8, zona)
32
33
34

```

The Environment pane shows the following objects:

Name	Type	Length	Size	Value
L8	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
L8	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
utm	character	1	232 B	"proj4utm(utm=19, south
zona	SpatialPoly	1	213.5 KB	Formal class 'SpatialPoly'

The console shows the execution of the code, including the successful loading of the area of study and the cropping of the satellite image.



The screenshot shows RStudio with the following R code in the script editor:

```

13 library(reshape2)
14 library(caret)
15 library(SF)
16 # Cargando directorio de trabajo
17 setwd("D:/api/Atesis/Fragmentacion/ImagenesLandsat/")
18 # Cargar imagen satelital
19 L8 <- rast("LandSat8_TOA_2015.tif")
20 # Proyeccion de la imagen
21 utm <- proj4utm(utm=19, south, datum=WGS84, units=m, no_defs, ellps=WGS84, long=
22 L8 <- project(L8, crs(utm), res = 30, method = "bilinear")
23 plot(L8, r=5, g=4, b=3, stretch = "lin")
24 # Cargando area de estudio
25 setwd("D:/api/Atesis/Fragmentacion/Area_de_estudio/")
26 zona <- vect("Huepetuhe_utm.shp")
27 plot(zona, border = "red", add = TRUE, cex = 80, lwd = 4)
28
29 # Cortar imagen satelital en funcion al area de estudio
30 L8 <- crop(L8, zona)
31 L8 <- mask(L8, zona)
32
33
34

```

The Environment pane shows the following objects:

Name	Type	Length	Size	Value
L8	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
L8	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
utm	character	1	232 B	"proj4utm(utm=19, south
zona	SpatVector	1	1.3 KB	Formal class 'SpatVector'

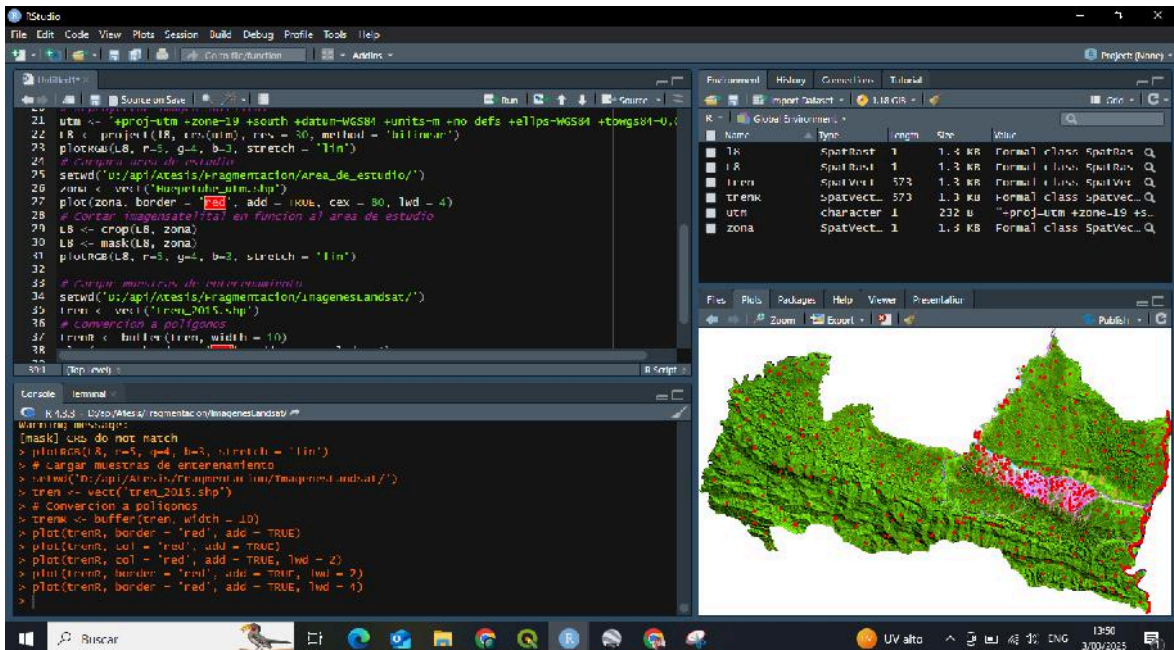
The console shows an error message:

```

Error in (function (classes, fdef, mtable) :
  unable to find an inherited method for function 'extent' for signature "'SpatVector'"
> # Cortar imagen satelital en funcion al area de estudio
> L8 <- crop(L8, zona)
> L8 <- mask(L8, zona)
Warning message:
[1] mask() CRS do not match
> plot(L8, r=5, g=4, b=3, stretch = "lin")
>

```

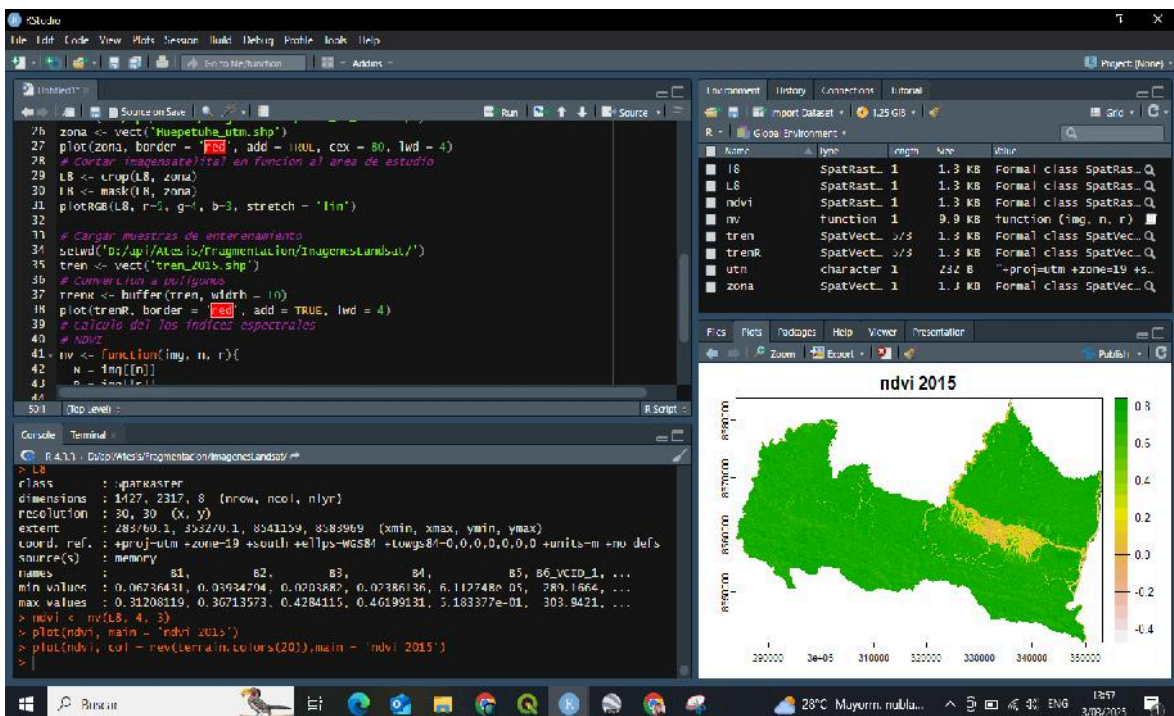
## Anexo 04: Importación de las muestras de entrenamiento a RStudio.



```

21 utm <- +proj=utm +zone=19 +south +datum=WGS84 +units=m +no_defs +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0
22 LR <- project(LR, crs(utm), crs = 30, method = "bilinear")
23 plotRGB(LB, r=3, g=4, b=3, stretch = "lin")
24 # Cargar muestra de entrenamiento
25 setwd("D:/api/tesis/fragmentacion/Area_de_estudio/")
26 zona <- vect("Huapetla_utm.shp")
27 plot(zona, border = "red", add = TRUE, col = 30, lwd = 4)
28 # Cortar imágenes satelitales en función al área de estudio
29 LB <- crop(LB, zona)
30 LB <- mask(LB, zona)
31 plotRGB(LB, r=3, g=4, b=3, stretch = "lin")
32
33 # Cargar muestra de entrenamiento
34 setwd("D:/api/tesis/fragmentacion/imagenesLandsat/")
35 LR <- vect("tren_2015.shp")
36 # conversión a poligonos
37 trenR <- buffer(tren, width = 10)
38
39

```

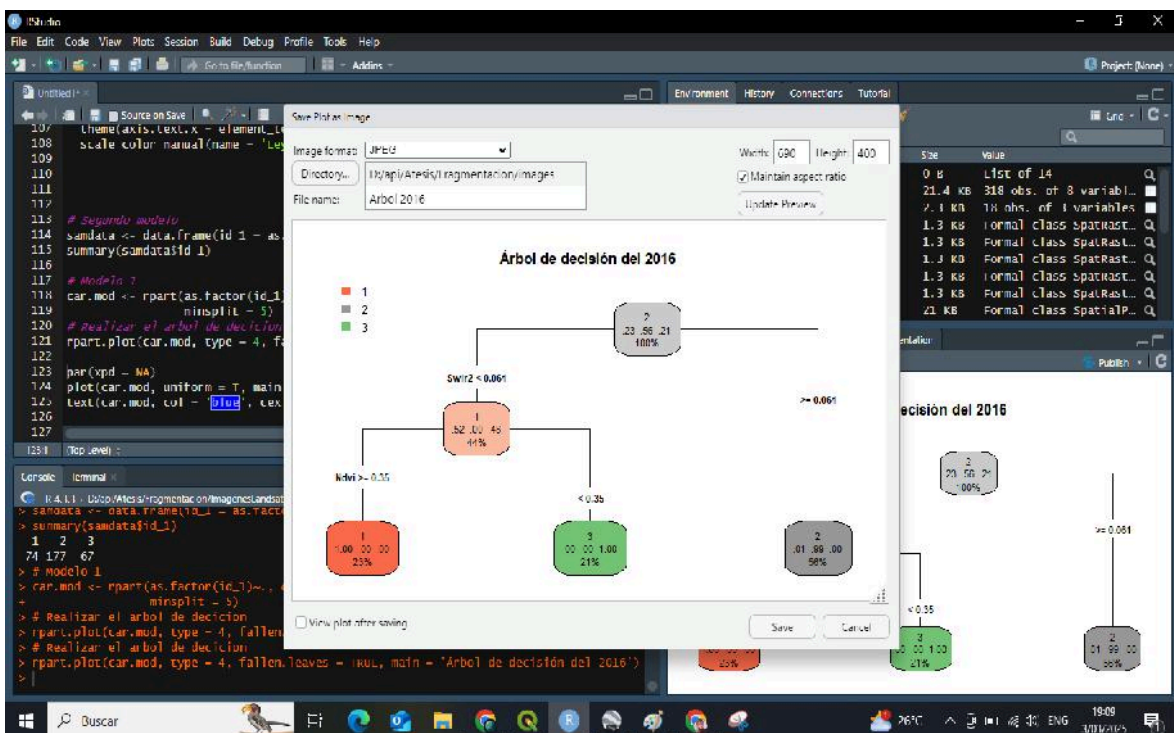
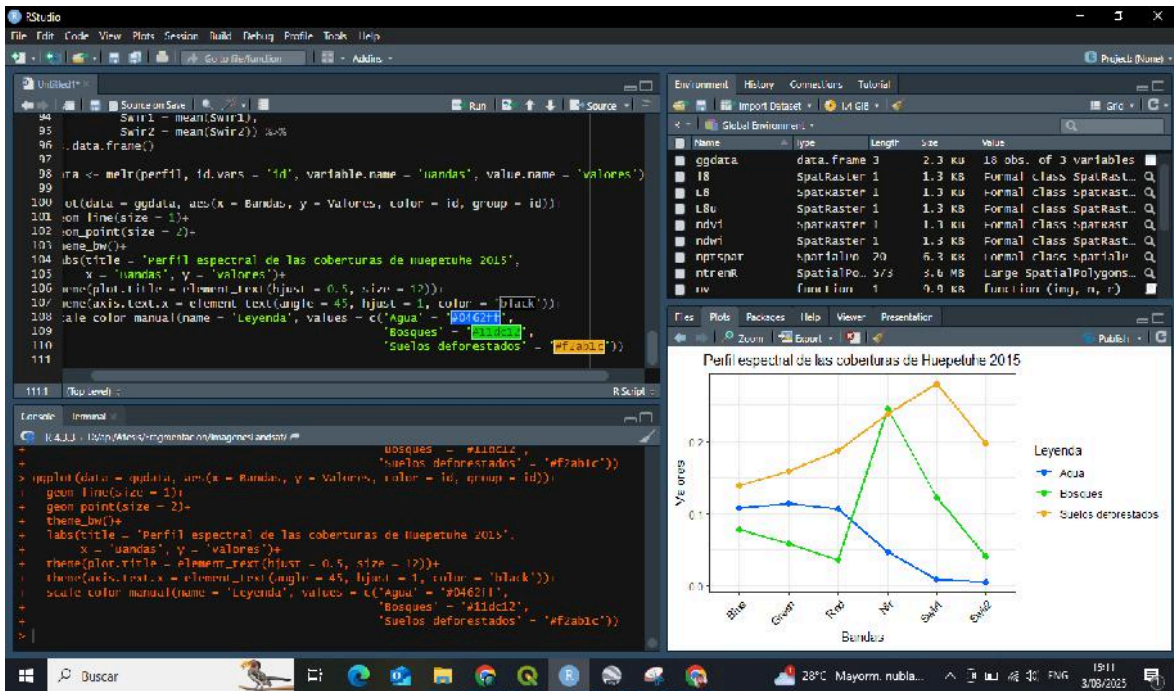


```

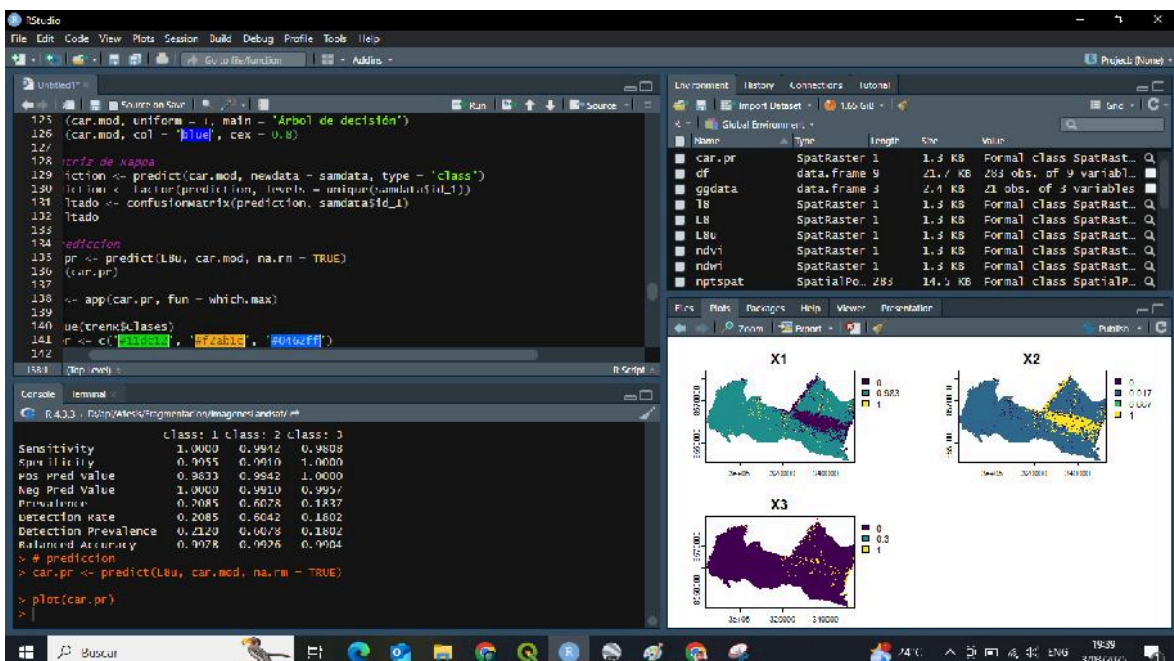
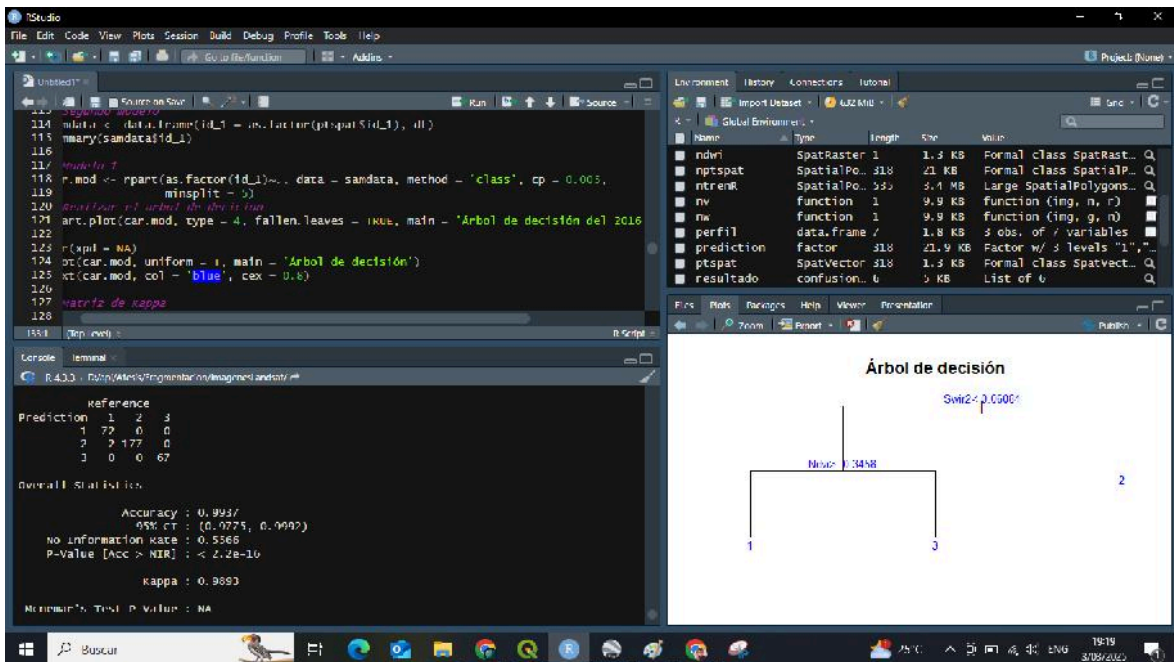
39 # Cargar muestras de entrenamiento
40 setwd("D:/api/tesis/fragmentacion/imagenesLandsat/")
41 tren <- vect("tren_2015.shp")
42 # conversión a poligonos
43 trenR <- buffer(tren, width = 10)
44
45 plot(trenR, border = "red", add = TRUE, lwd = 4)
46
47 # cálculo del índice espectroal
48 # ndvi
49 ndvi <- function(img, n, r){
50   N = img[[n]]
51   n = img[[r]]
52 }
53
54 LB
55 class      : spatRaster
56 dimensions : 1427, 2317, 8  (nrow, ncol, nlyr)
57 resolution : 30, 30  (x, y)
58 extent     : 283760.1, 353270.1, 8541159, 8589969  (xmin, xmax, ymin, ymax)
59 coord. ref.: +proj=utm +zone=19 +south +ellps=WGS84 +towgs84=0,0,0,0,0,0,0 +units=m +no_defs
60 source(s)  : memory
61 names      : B1, B2, B3, B4, B5, B6_VCID_1, ...
62 min values : 0.06736431, 0.03924794, 0.0203687, 0.02286136, 6.117748e-05, 289.1864, ...
63 max values : 0.31208119, 0.36713573, 0.4284115, 0.46199231, 5.183377e-01, 309.9421, ...
64
65 > ndvi <- ndvi(LB, 4, 3)
66 > plot(ndvi, main = "ndvi 2015")
67 > plot(ndvi, col = rev(terrain.colors(20)), main = "ndvi 2015")
68

```

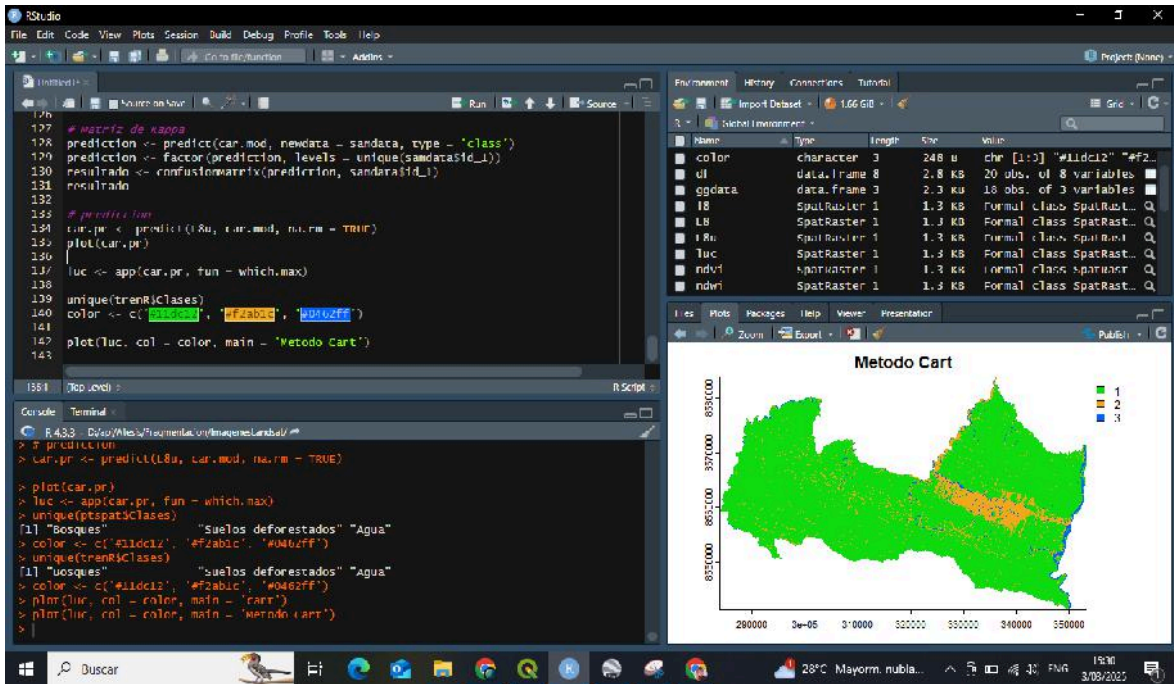
## Anexo 05: Firma espectral de las imágenes LandSat-8 en RStudio.



## Anexo 06: Firma espectral de las imágenes LandSat-8 en RStudio.



## Anexo 07: Modelo CART en RStudio.



The screenshot shows RStudio with the following code in the console:

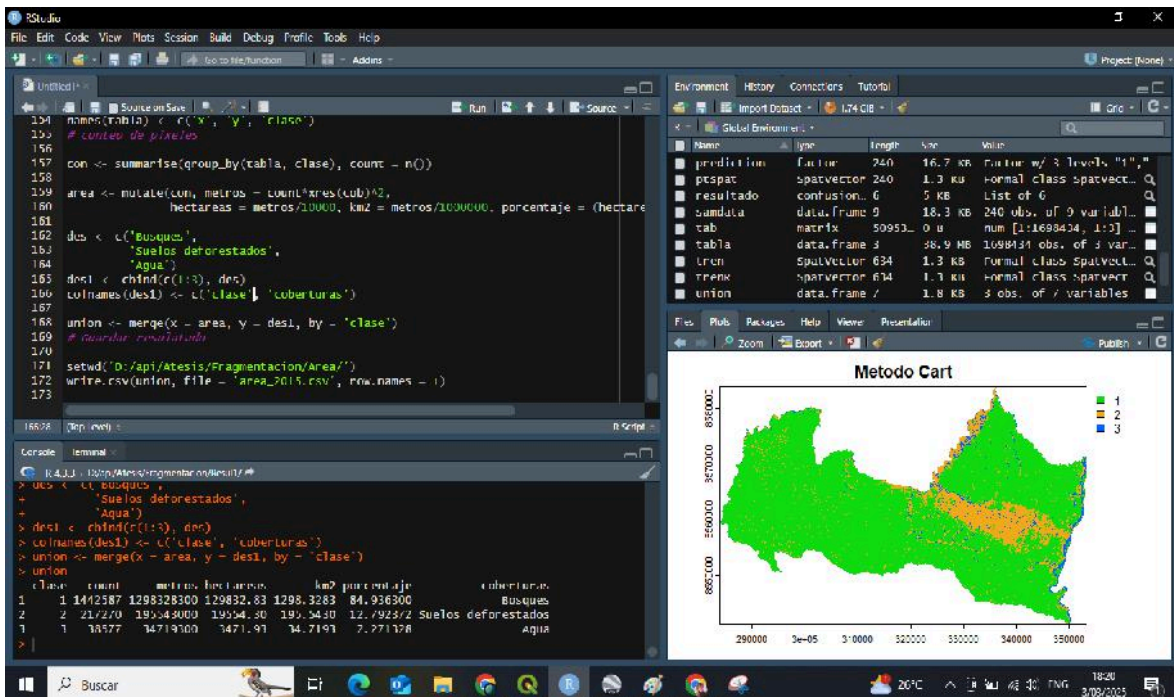
```

126 # Matriz de datos
127
128 prediction <- predict(car_mod, newdata = sandata, type = "class")
129 prediction <- factor(prediction, levels = unique(sandata$id_1))
130 resultado <- confusionmatrix(prediction, sandata$id_1)
131 resultado
132
133 # predicciones
134 car.pr <- predict(L8a, car_mod, na.rm = TRUE)
135 plot(car.pr)
136
137 luc <- app(car.pr, fun = which.max)
138
139 unique(trenRClases)
140 color <- c("#11d121", "#f2ab00", "#0062ff")
141
142 plot(luc, col = color, main = "Metodo Cart")
143
  
```

The Environment pane shows the following objects:

Name	Type	Length	Size	Value
color	character	3	248 B	chr [1:3] "#11d121" "#f2ab00" "#0062ff"
id	data.frame	8	2.8 KB	20 obs. of 8 variables
ggdata	data.frame	3	2.3 KB	18 obs. of 3 variables
L8	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
L8a	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
luc	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
ndwi	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'
ndwi	SpatRaster	1	1.3 KB	Formal class 'SpatRaster'

The plot titled "Metodo Cart" shows a map of a region with three distinct areas colored green, orange, and blue, corresponding to the legend on the right.



The screenshot shows RStudio with the following code in the console:

```

154 nombre(tabla) <- c("Y", "X", "clase")
155
156 # contos de pixeles
157 con <- summarise(group_by(tabla, clase), count = n())
158
159 area <- mutate(con, metros = sqrt(xres*(col)^2 +
160   yres*(row)^2),
161   hectareas = metros/10000, km2 = metros/1000000, porcentaje = (hectareas/total) * 100)
162
163 des <- c("Bosques",
164   "Suelos deforestados",
165   "Agua")
166
167 des1 <- cbind(r(1:3), des)
168 colnames(des1) <- c("clase", "coberturas")
169
170 union <- merge(x = area, y = des1, by = "clase")
171
172 # guardar resultados
173
174 setwd("D:/api/Atesis/Fragmentacion/Area/")
175 write.csv(union, file = "area_2015.csv", row.names = 1)
  
```

The Environment pane shows the following objects:

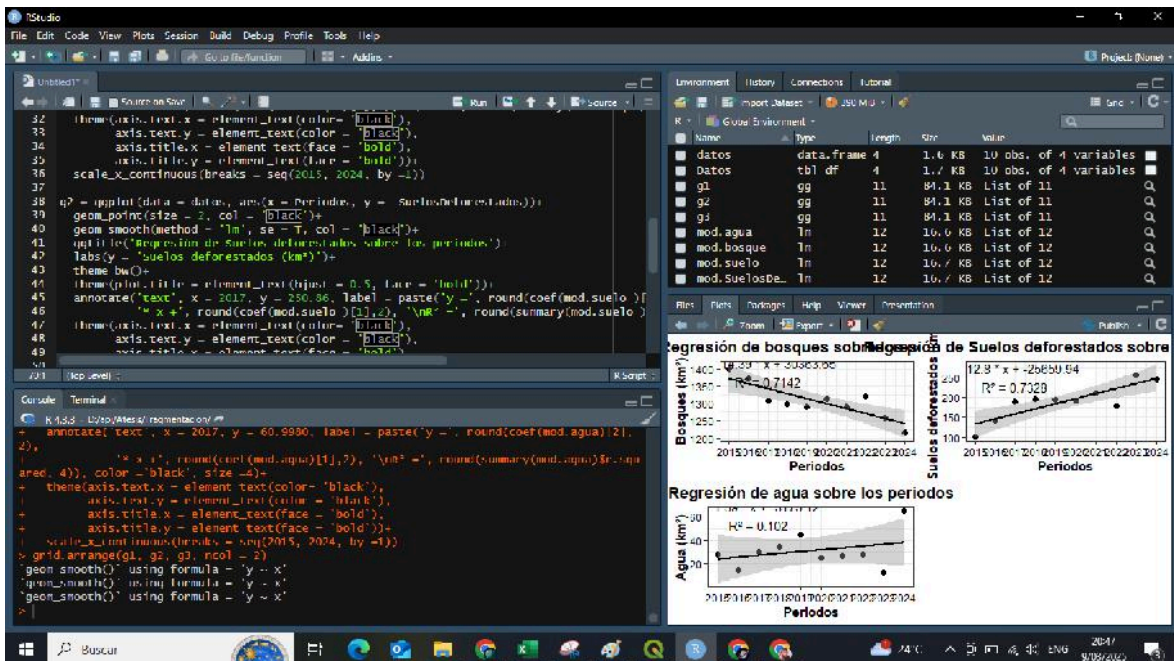
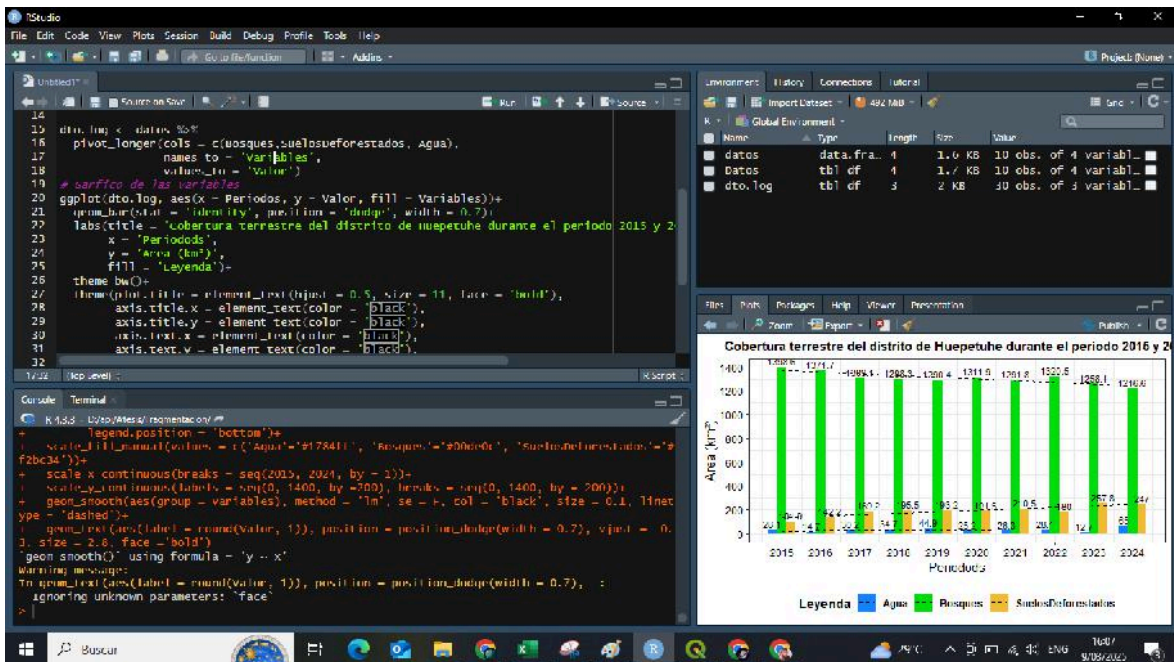
Name	Type	Length	Size	Value
prediction	factor	240	16.7 KB	Factor w/ 3 levels: "1", "2", "3"
ptspar	spatvector	240	1.3 KB	Formal class 'spatvect...'
resultado	confusion	6	5 KB	List of 6
sandata	data.frame	9	18.3 KB	240 obs. of 9 variables
tab	matrix	50953	0 B	num [1:1698434, 1:3] ...
tabla	data.frame	3	38.9 MB	1698434 obs. of 3 variables
lucn	SpatVector	634	1.3 KB	Formal class 'SpatVect...'
lucn	SpatVector	634	1.3 KB	Formal class 'SpatVect...'
union	data.frame	7	1.8 KB	3 obs. of 7 variables

The plot titled "Metodo Cart" shows a map of a region with three distinct areas colored green, orange, and blue, corresponding to the legend on the right.

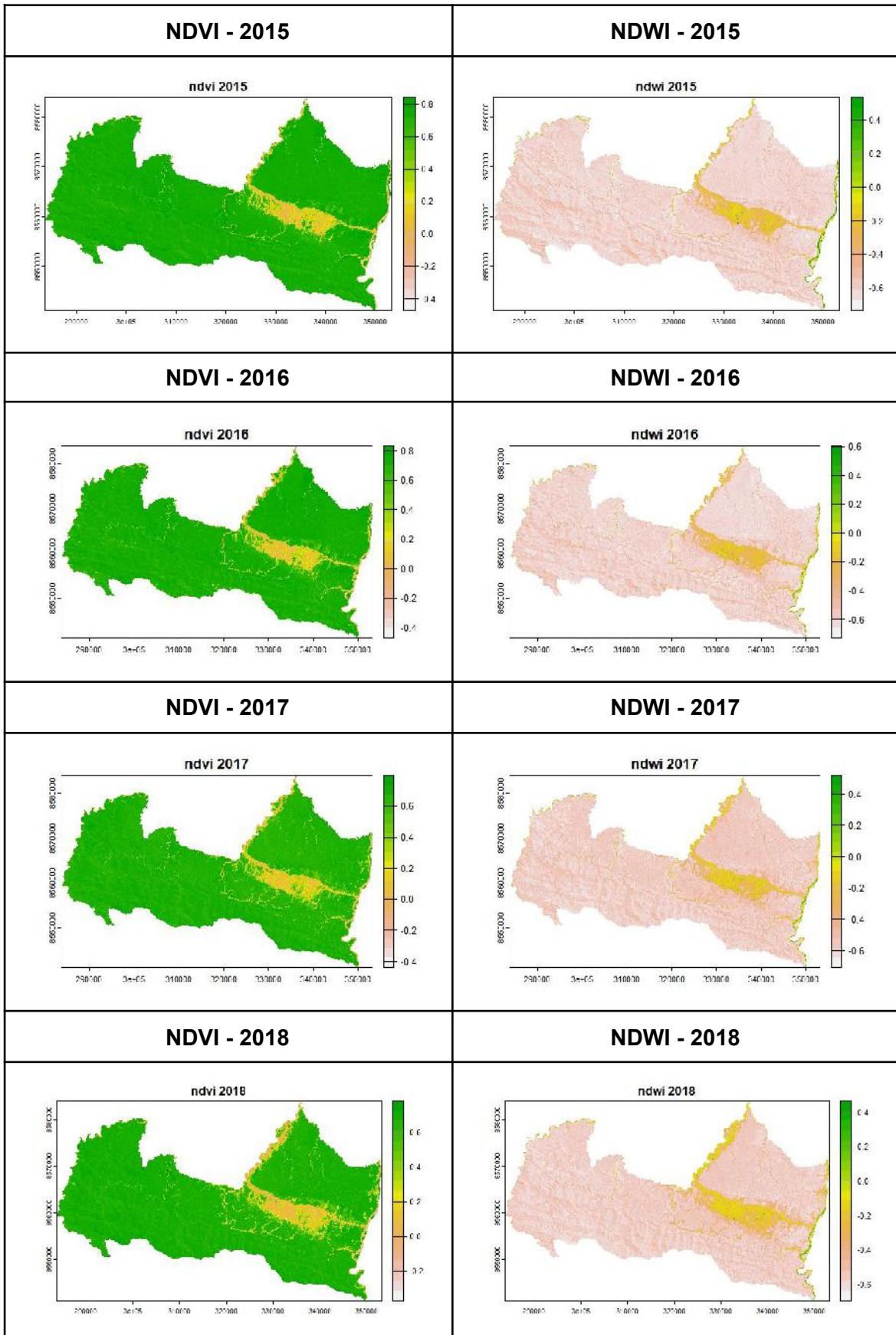
The console output shows the following table:

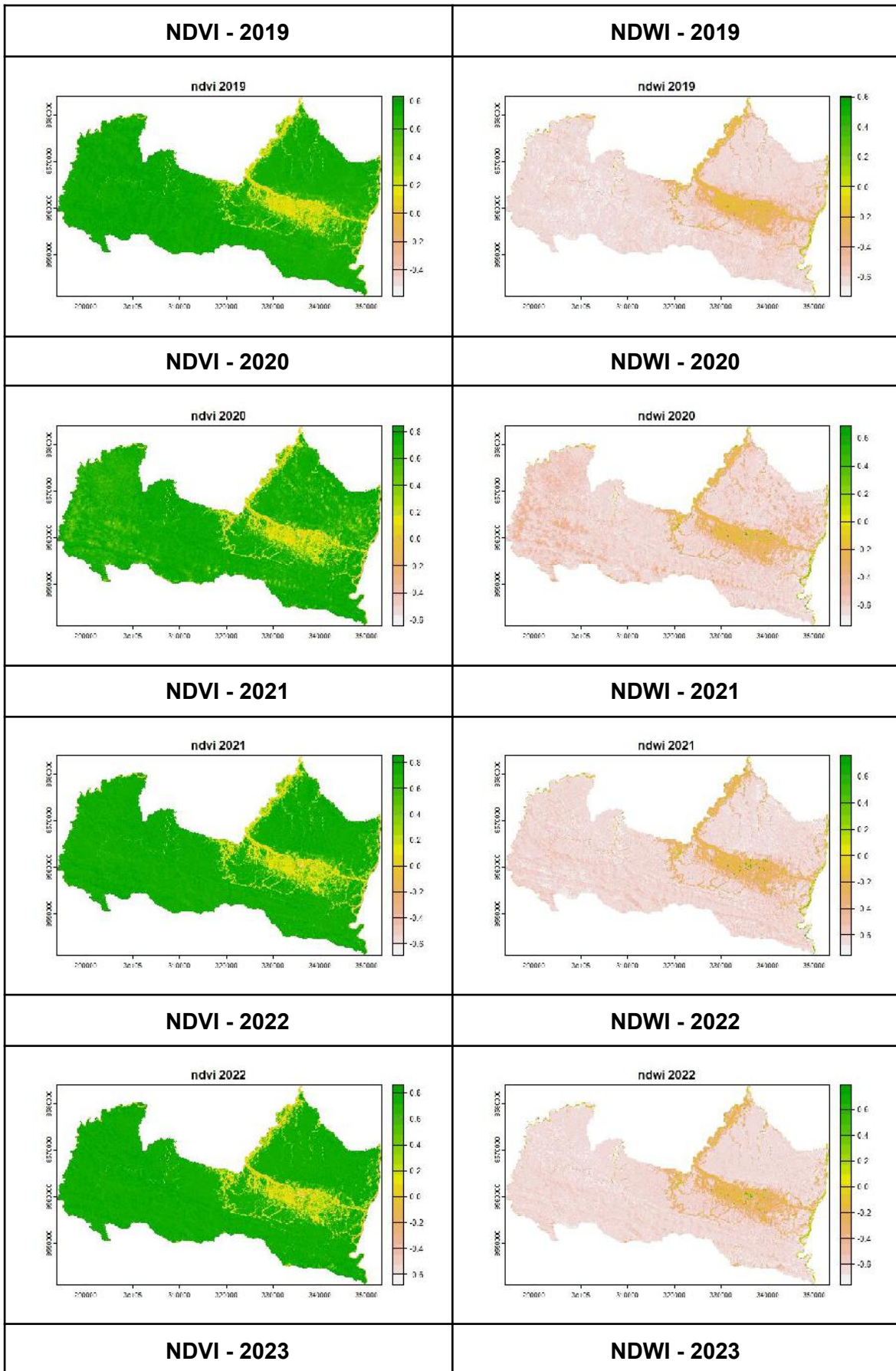
clase	count	metros	hectareas	km2	porcentaje	coberturas
1	1442587	1298328300	129832.83	1298.3283	84.936300	Bosques
2	217270	195343000	19534.30	195.3430	12.792372	Suelos deforestados
3	18577	34719100	3471.91	34.7191	2.271128	Agua

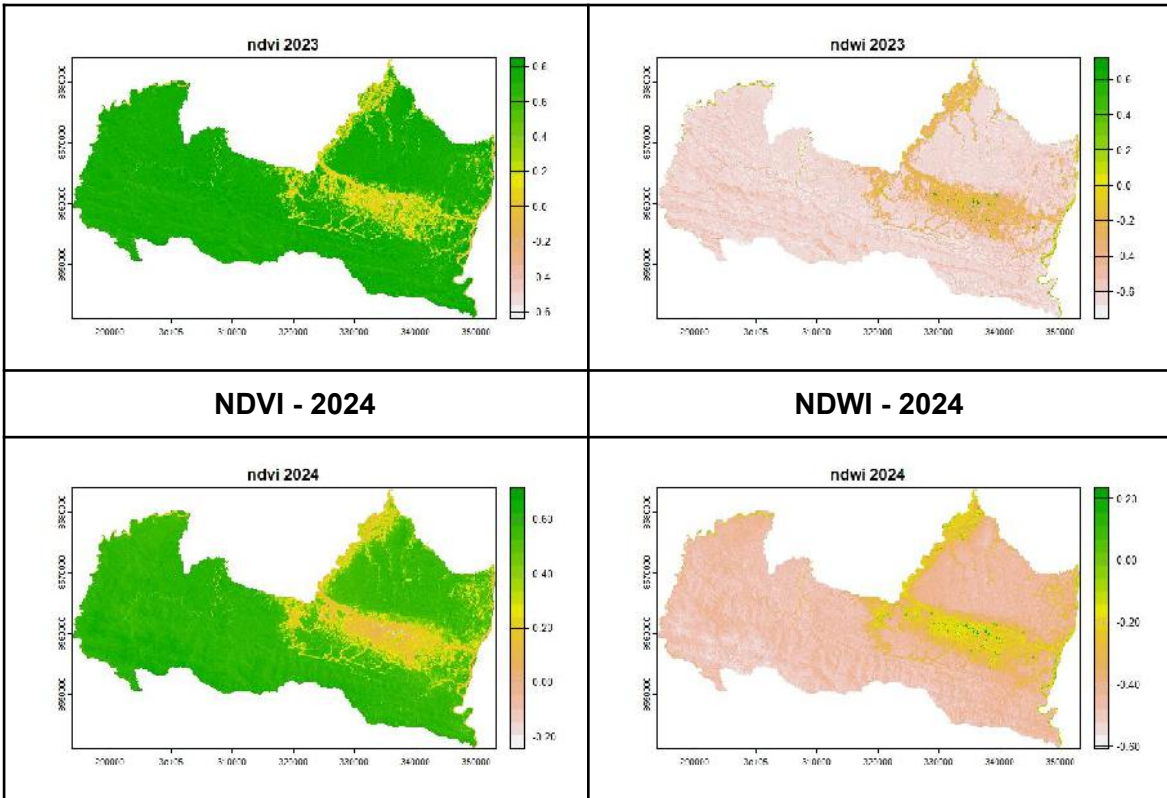
## Anexo 08: Gráficos estadísticos en RStudio.



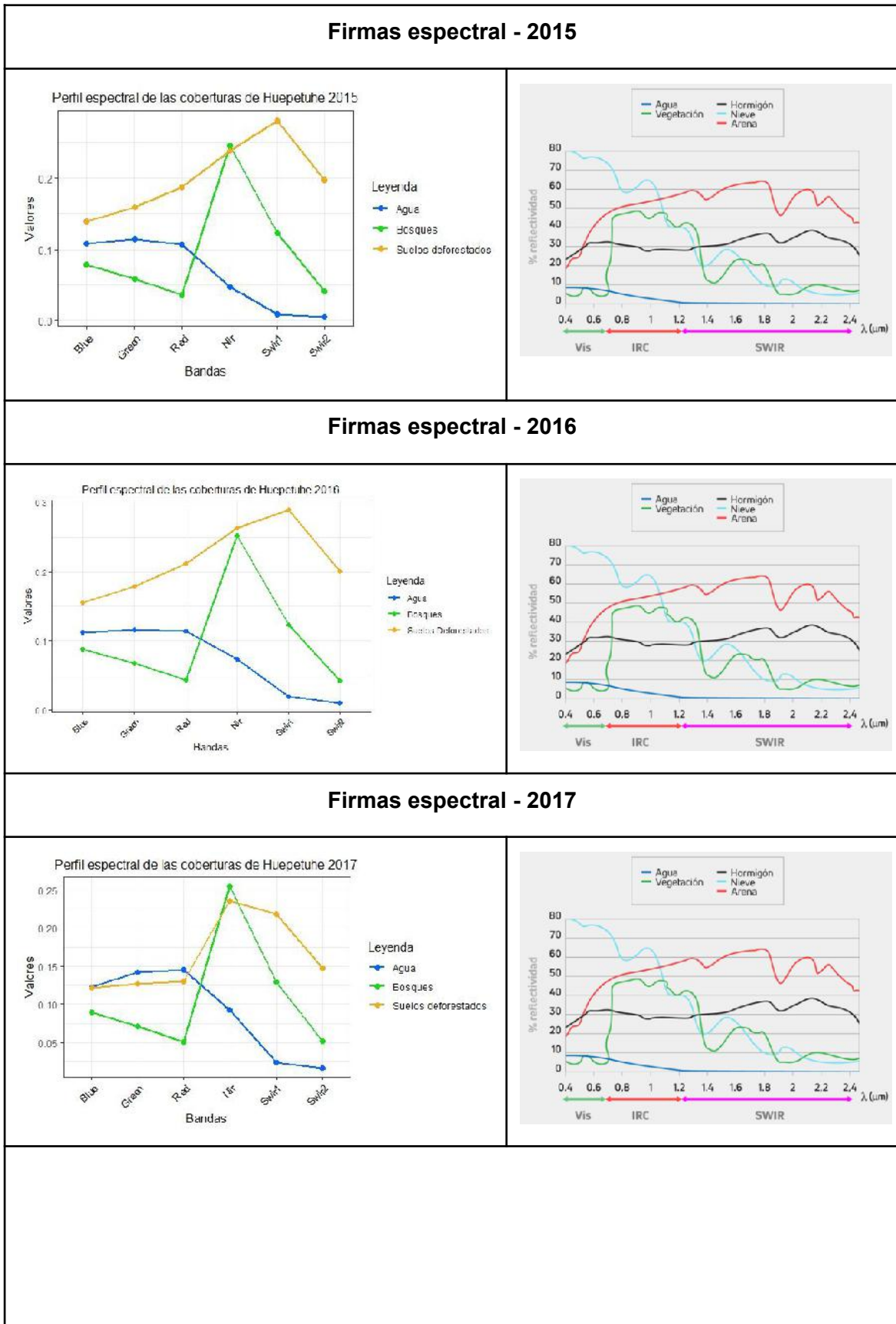
**Anexo 09: Índices espectrales calculados en RStudio.**



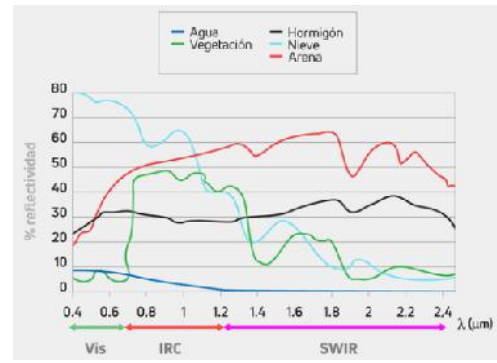
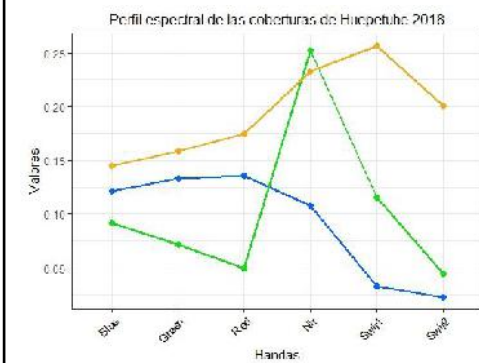




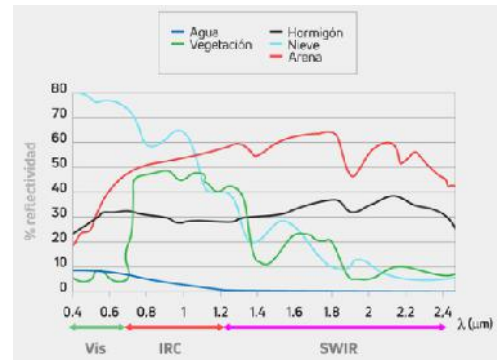
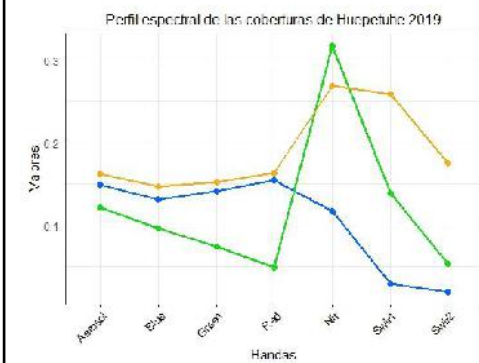
**Anexo 10: Firmas espectrales calculados en RStudio.**



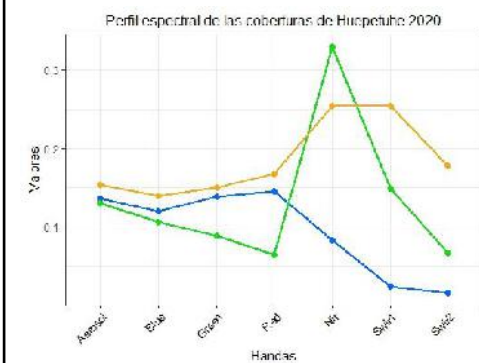
### Firmas espectral - 2018



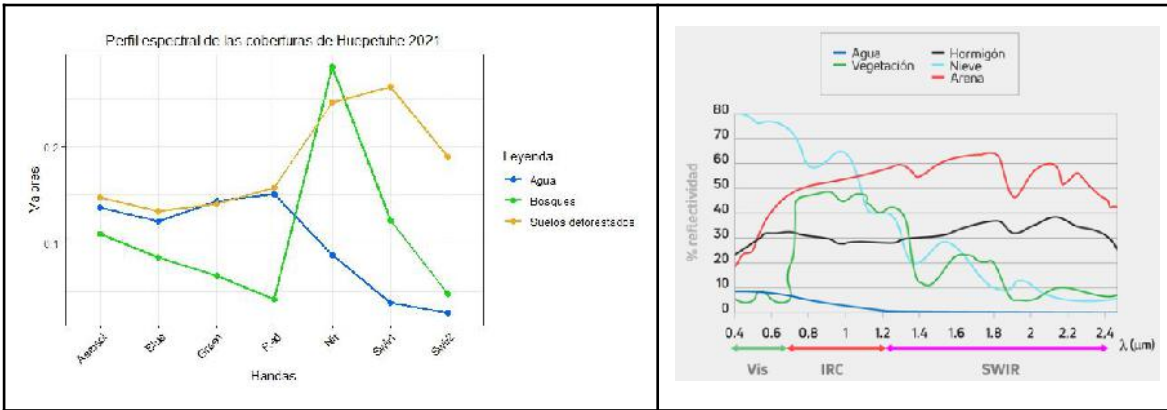
### Firmas espectral - 2019



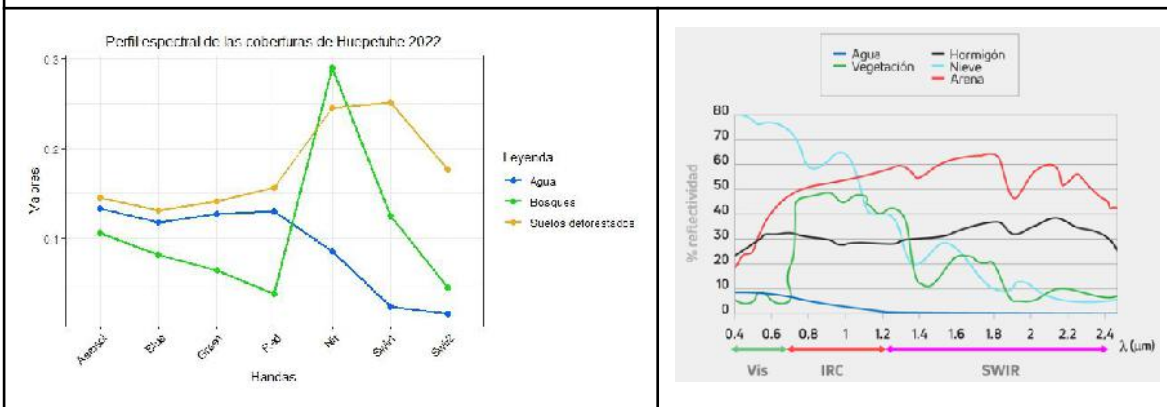
### Firmas espectral - 2020



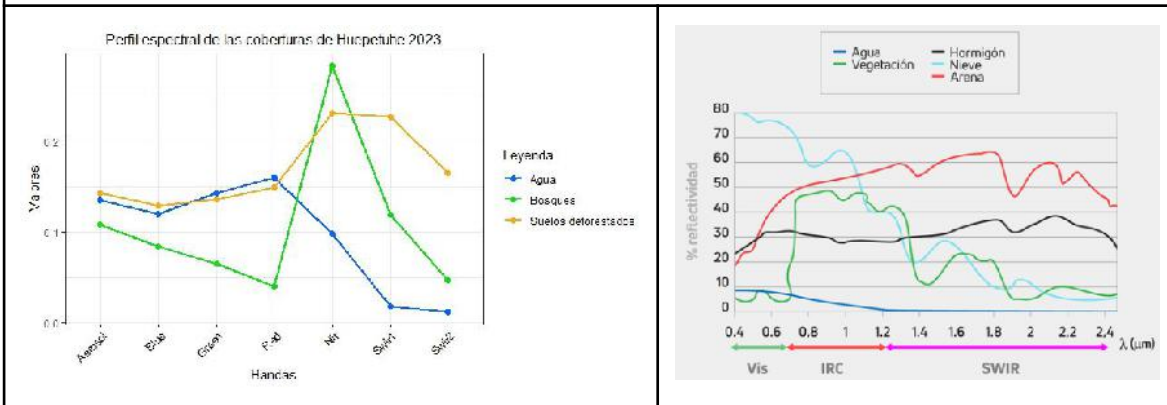
### Firmas espectral - 2021



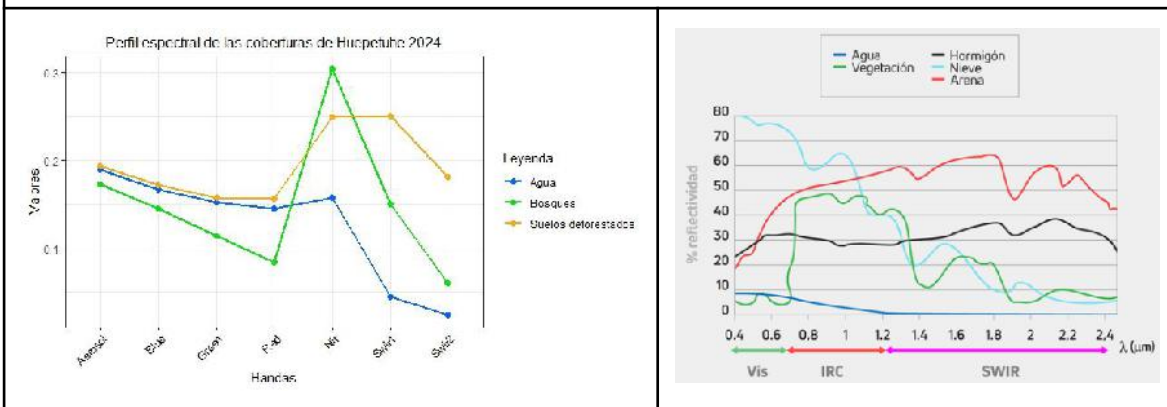
### Firmas espectral - 2022



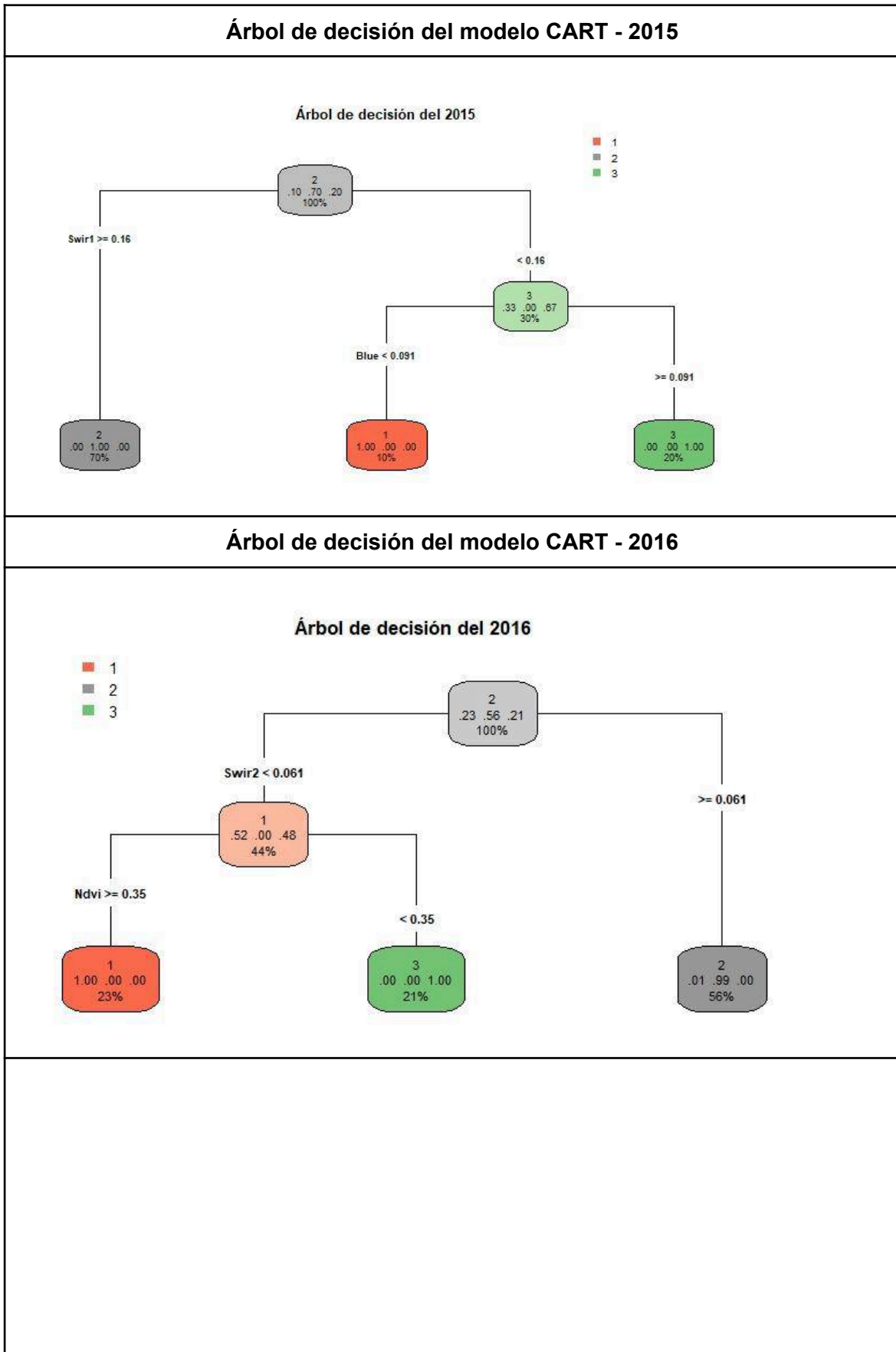
### Firmas espectral - 2023



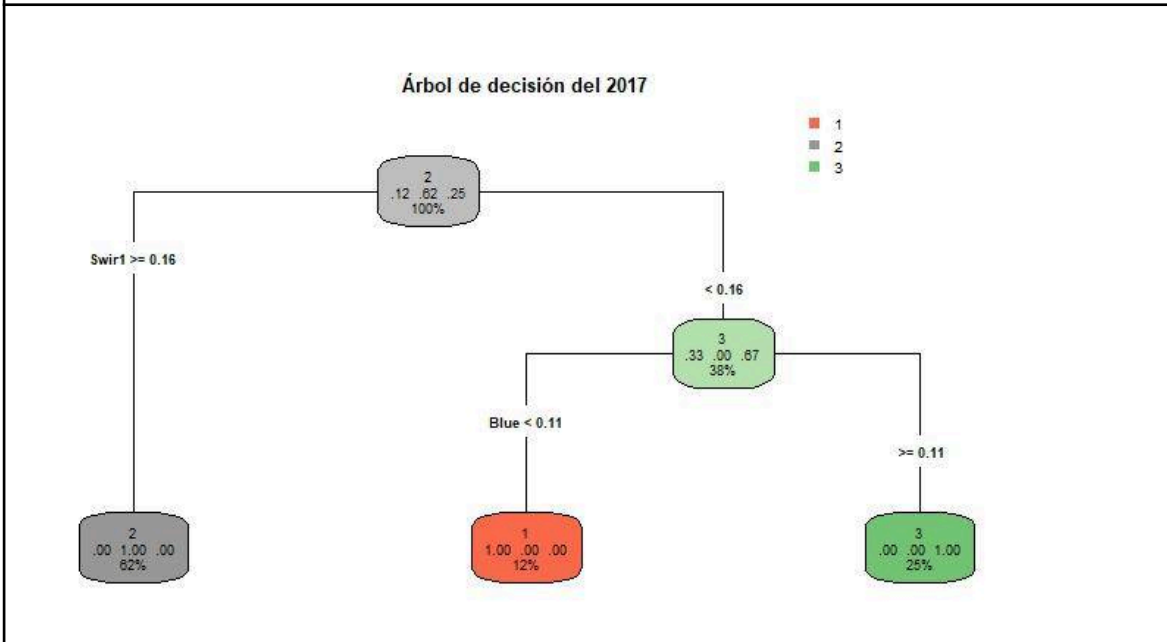
### Firmas espectral - 2024



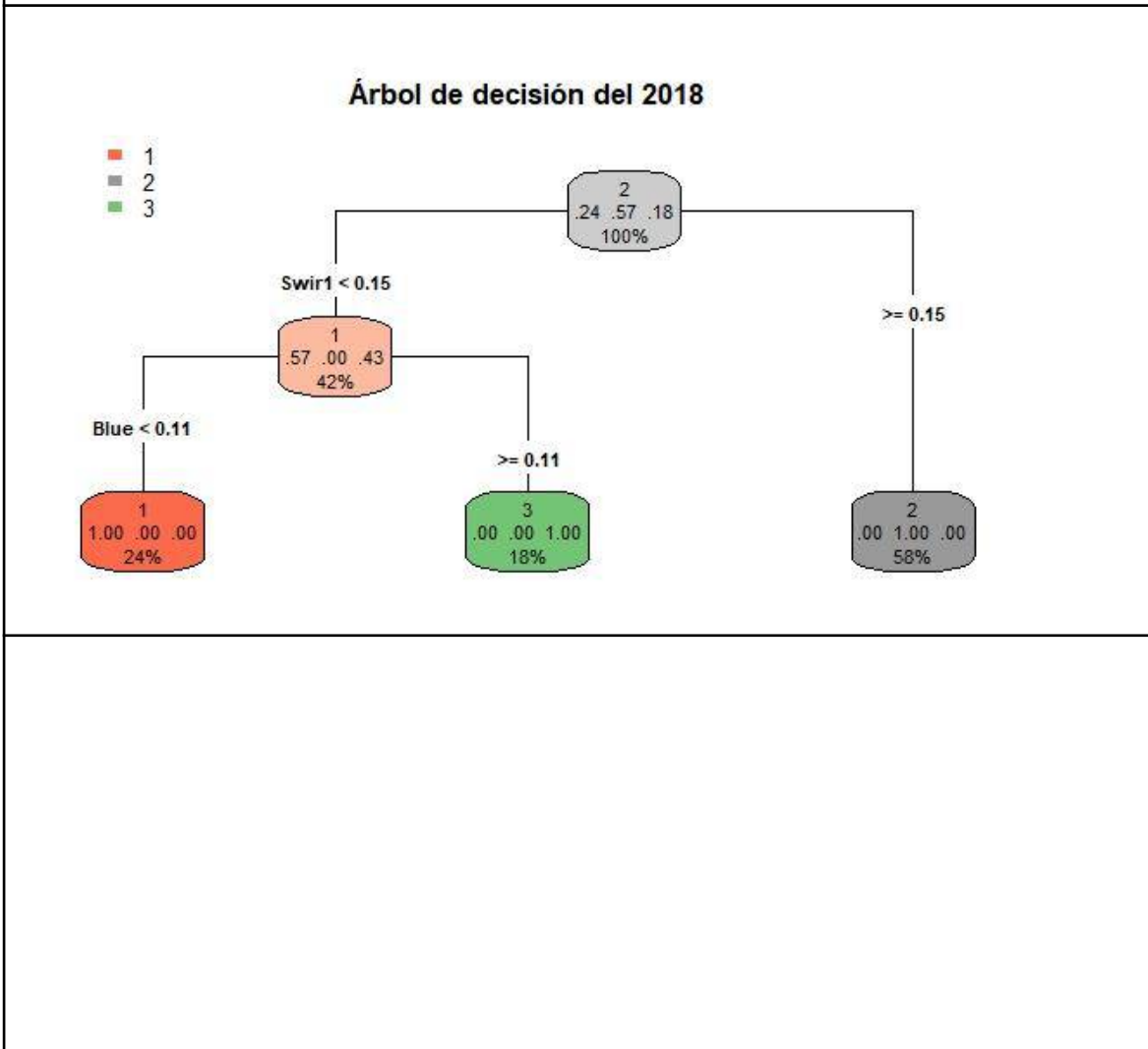
**Anexo 11: Árbol de decisión del modelo CART calculados en RStudio**



### Árbol de decisión del modelo CART - 2017

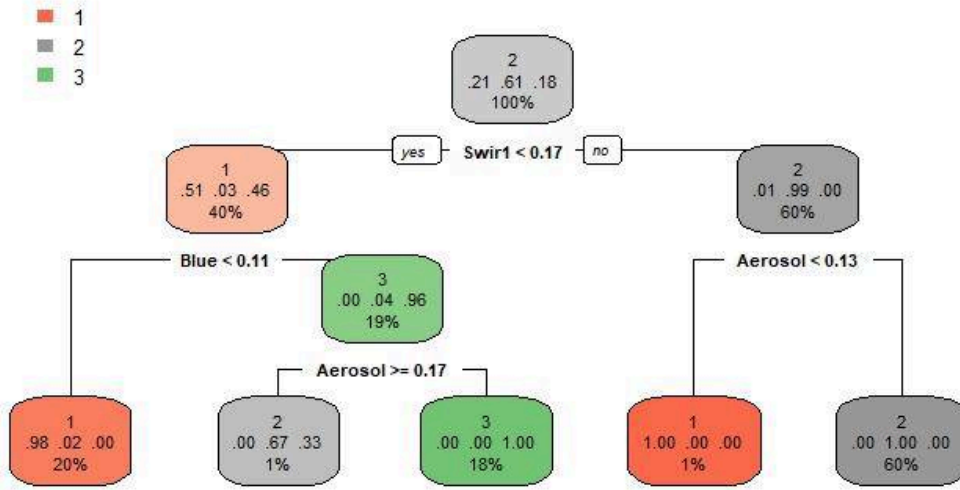


### Árbol de decisión del modelo CART - 2018



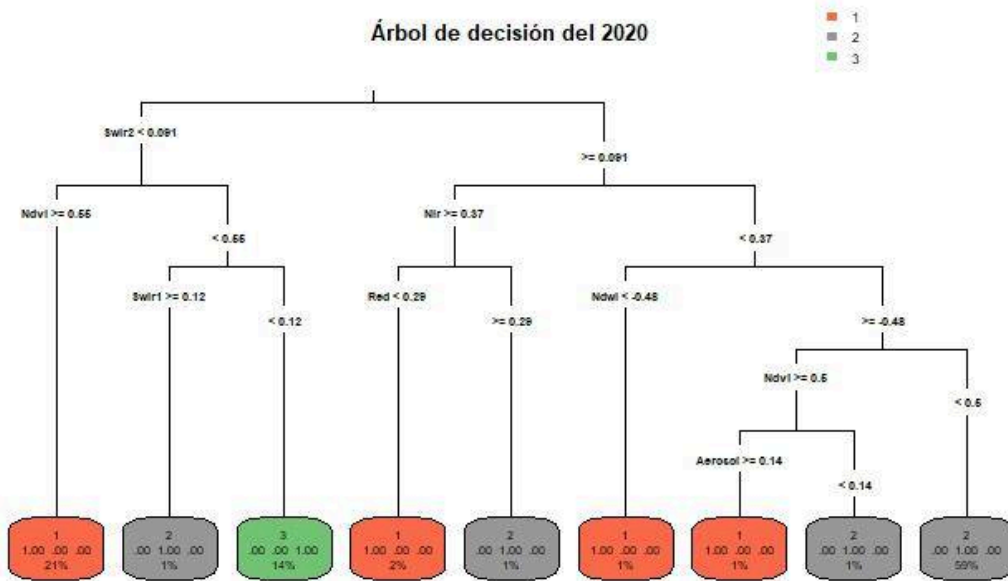
### Árbol de decisión del modelo CART - 2019

#### Árbol de decisión del 2019

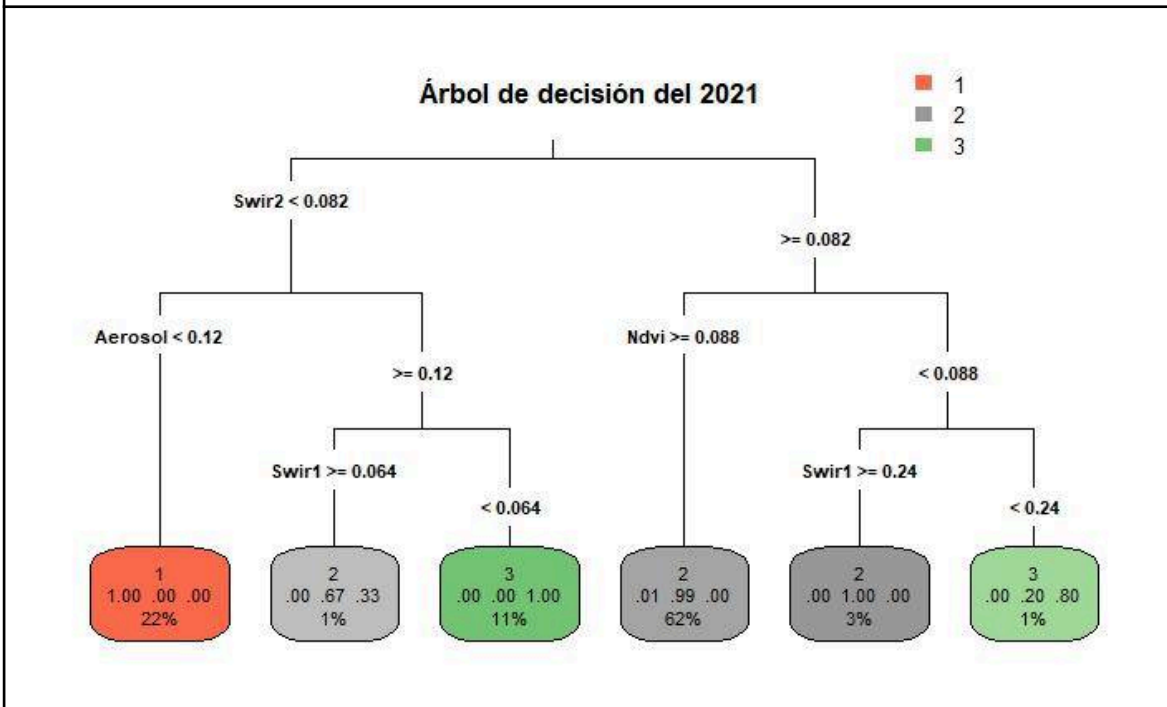


### Árbol de decisión del modelo CART - 2020

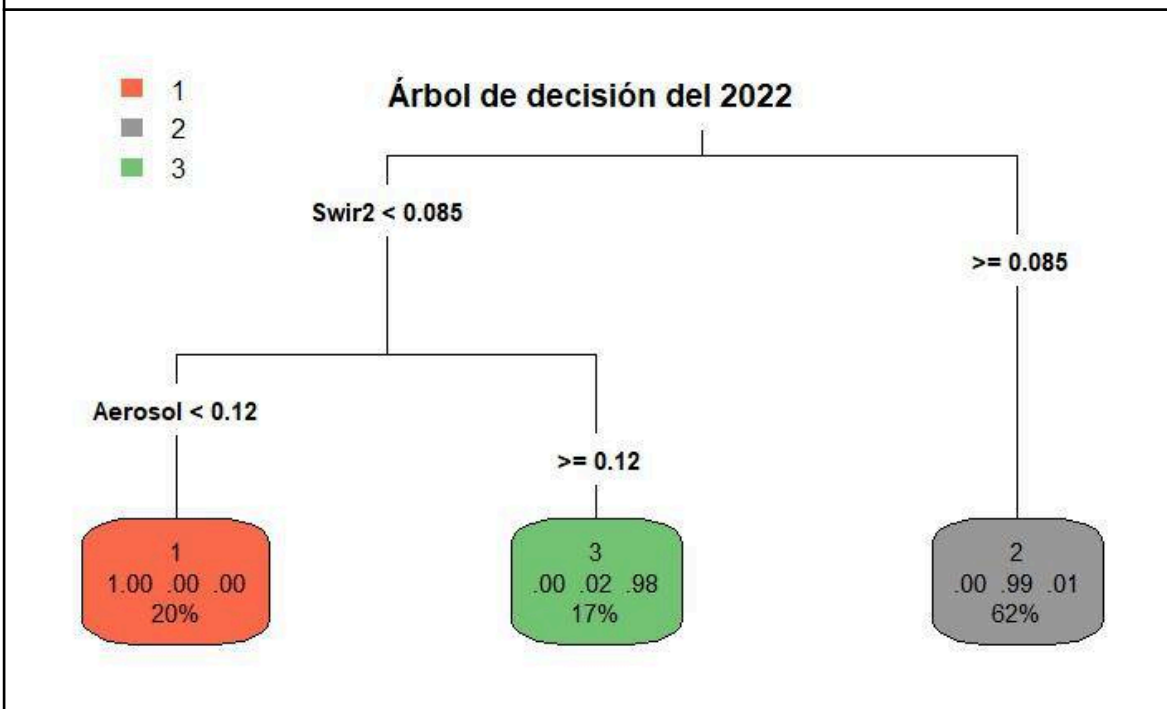
#### Árbol de decisión del 2020



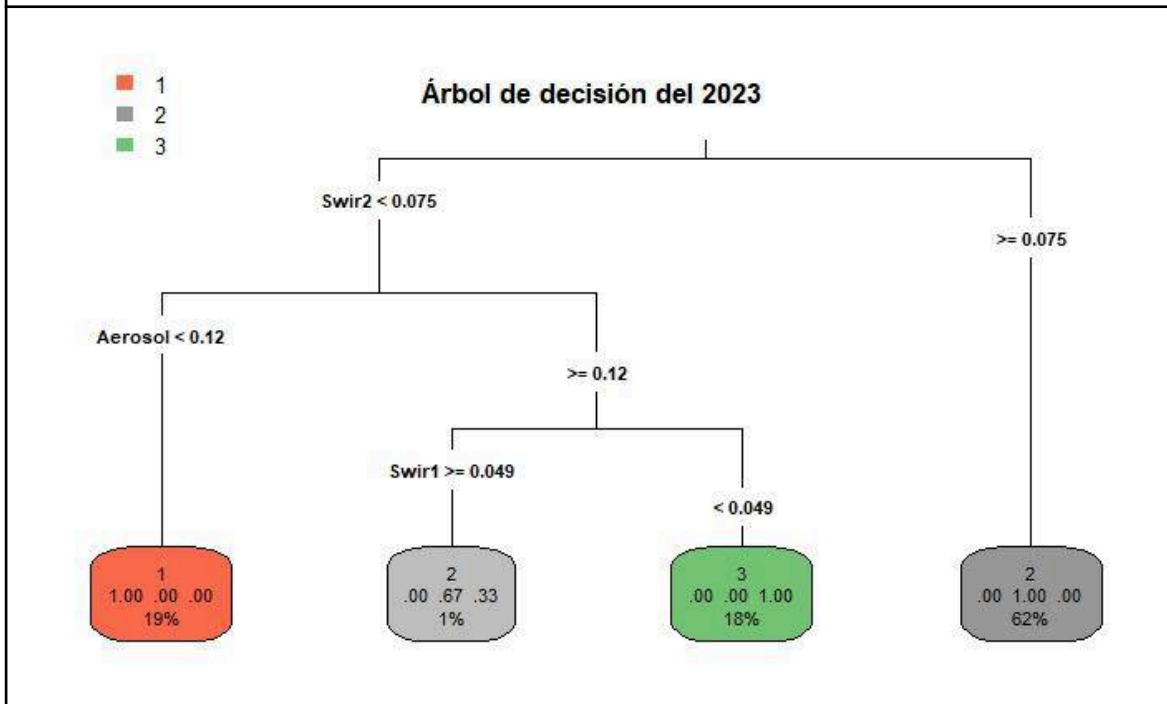
### Árbol de decisión del modelo CART - 2021



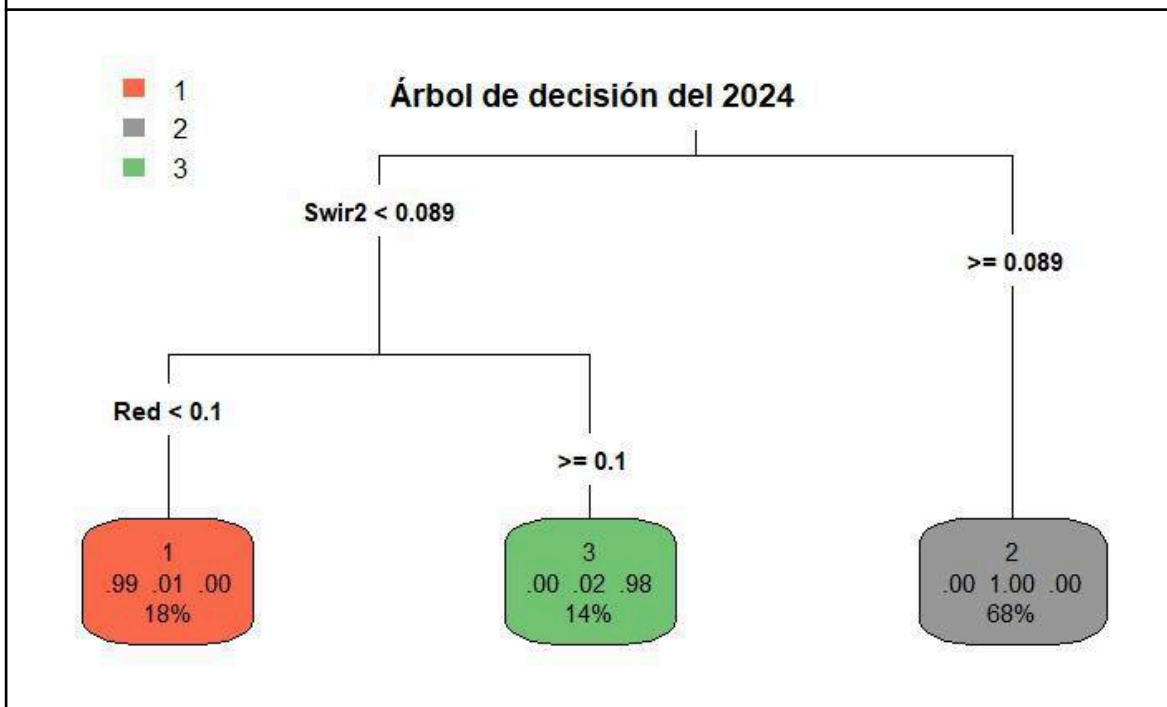
### Árbol de decisión del modelo CART - 2022



### Árbol de decisión del modelo CART - 2023



### Árbol de decisión del modelo CART - 2024



**Anexo 12:** Matriz de confusión calculados en RStudio.

**Validación estadística de la clasificación supervisada del 2015**

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction 1  2  3
 1      1  2  0  0
 2      2  0 14  0
 3      3  0  0  4

overall statistics

      Accuracy : 1
      95% CI   : (0.8316, 1)
      No Information Rate : 0.7
      P-Value [Acc > NIR] : 0.0007979

      Kappa : 1

      McNemar's Test P-Value : NA

statistics by Class:

      Class: 1 Class: 2 Class: 3
Sensitivity      1.0      1.0      1.0
Specificity      1.0      1.0      1.0
Pos Pred Value   1.0      1.0      1.0
Neg Pred Value   1.0      1.0      1.0
Prevalence       0.1      0.7      0.2
Detection Rate   0.1      0.7      0.2
Detection Prevalence 0.1      0.7      0.2
Balanced Accuracy 1.0      1.0      1.0
>
```

**Validación estadística de la clasificación supervisada del 2016**

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction 1  2  3
 1      1  72  0  0
 2      2  2 177  0
 3      3  0  0  67

overall statistics

      Accuracy : 0.9937
      95% CI   : (0.9775, 0.9992)
      No Information Rate : 0.5566
      P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

      Kappa : 0.9893

      McNemar's Test P-Value : NA

statistics by Class:

      Class: 1 Class: 2 Class: 3
Sensitivity      0.9730  1.0000  1.0000
Specificity      1.0000  0.9858  1.0000
Pos Pred Value   1.0000  0.9888  1.0000
Neg Pred Value   0.9919  1.0000  1.0000
Prevalence       0.2327  0.5566  0.2107
Detection Rate   0.2264  0.5566  0.2107
Detection Prevalence 0.2264  0.5629  0.2107
Balanced Accuracy 0.9865  0.9929  1.0000
>
```

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2017

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction 1  2  3
      1  2  0  0
      2  0 10  0
      3  0  0  4

overall statistics

      Accuracy : 1
      95% CI : (0.7941, 1)
      No Information Rate : 0.625
      P-Value [Acc > NIR] : 0.0005421

      Kappa : 1

      McNemar's Test P-Value : NA

Statistics by Class:

                Class: 1 Class: 2 Class: 3
Sensitivity      1.000    1.000    1.00
Specificity      1.000    1.000    1.00
Pos Pred Value   1.000    1.000    1.00
Neg Pred Value   1.000    1.000    1.00
Prevalence       0.125    0.625    0.25
Detection Rate   0.125    0.625    0.25
Detection Prevalence 0.125    0.625    0.25
Balanced Accuracy 1.000    1.000    1.00
> |
```

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2018

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction 1  2  3
      1  58  0  0
      2  0 138  0
      3  0  0  44

overall statistics

      Accuracy : 1
      95% CI : (0.9847, 1)
      No Information Rate : 0.575
      P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

      Kappa : 1

      McNemar's Test P-Value : NA

Statistics by Class:

                Class: 1 Class: 2 Class: 3
Sensitivity      1.0000    1.000    1.0000
Specificity      1.0000    1.000    1.0000
Pos Pred Value   1.0000    1.000    1.0000
Neg Pred Value   1.0000    1.000    1.0000
Prevalence       0.2417    0.575    0.1833
Detection Rate   0.2417    0.575    0.1833
Detection Prevalence 0.2417    0.575    0.1833
Balanced Accuracy 1.0000    1.000    1.0000
> |
```

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2019

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction  1  2  3
1          59  1  0
2           0 171  1
3           0  0  51

overall Statistics

      Accuracy : 0.9929
      95% CI   : (0.9747, 0.9991)
      No Information Rate : 0.6078
      P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

      Kappa : 0.9872

      McNemar's Test P-value : NA

Statistics by Class:

      Class: 1 Class: 2 Class: 3
Sensitivity    1.0000  0.9942  0.9808
Specificity    0.9955  0.9910  1.0000
Pos Pred Value 0.9833  0.9942  1.0000
Neg Pred Value 1.0000  0.9910  0.9957
Prevalence     0.2085  0.6078  0.1837
Detection Rate 0.2085  0.6042  0.1802
Detection Prevalence 0.2120  0.6078  0.1802
Balanced Accuracy 0.9978  0.9926  0.9904
> |
```

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2020

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction  1  2  3
1          77  0  0
2           0 195  0
3           0  0  43

overall Statistics

      Accuracy : 1
      95% CI   : (0.9884, 1)
      No Information Rate : 0.619
      P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

      Kappa : 1

      McNemar's Test P-value : NA

Statistics by Class:

      class: 1 class: 2 class: 3
Sensitivity    1.0000  1.000  1.0000
Specificity    1.0000  1.000  1.0000
Pos Pred Value 1.0000  1.000  1.0000
Neg Pred Value 1.0000  1.000  1.0000
Prevalence     0.2444  0.619  0.1365
Detection Rate 0.2444  0.619  0.1365
Detection Prevalence 0.2444  0.619  0.1365
Balanced Accuracy 1.0000  1.000  1.0000
> |
```

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2021

#### Confusion Matrix and Statistics

```

Reference
Prediction  1  2  3
1      73  0  0
2      2 217  1
3       0  1 42
    
```

#### Overall Statistics

```

Accuracy : 0.9881
95% CI : (0.9698, 0.9967)
No Information Rate : 0.6488
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16
    
```

Kappa : 0.9767

Mcnemar's Test P-value : NA

#### Statistics by Class:

	Class: 1	Class: 2	Class: 3
Sensitivity	0.9733	0.9954	0.9767
Specificity	1.0000	0.9746	0.9966
Pos Pred Value	1.0000	0.9864	0.9767
Neg Pred Value	0.9924	0.9914	0.9966
Prevalence	0.2232	0.6488	0.1280
Detection Rate	0.2173	0.6458	0.1250
Detection Prevalence	0.2173	0.6548	0.1280
Balanced Accuracy	0.9867	0.9850	0.9867

> |

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2022

#### Confusion Matrix and Statistics

```

Reference
Prediction  1  2  3
1      70  0  0
2       0 214  2
3       0  1 59
    
```

#### Overall Statistics

```

Accuracy : 0.9913
95% CI : (0.9749, 0.9982)
No Information Rate : 0.6214
P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16
    
```

Kappa : 0.984

Mcnemar's Test P-value : NA

#### Statistics by Class:

	Class: 1	Class: 2	Class: 3
Sensitivity	1.0000	0.9953	0.9672
Specificity	1.0000	0.9847	0.9965
Pos Pred Value	1.0000	0.9907	0.9833
Neg Pred Value	1.0000	0.9923	0.9930
Prevalence	0.2023	0.6214	0.1763
Detection Rate	0.2023	0.6185	0.1705
Detection Prevalence	0.2023	0.6243	0.1734
Balanced Accuracy	1.0000	0.9900	0.9819

> |

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2023

```
> resultado
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction 1  2  3
1         71  0  0
2          0 232  1
3          0  0  65

Overall Statistics

           Accuracy : 0.9973
           95% CI   : (0.985, 0.9999)
    No Information Rate : 0.6287
    P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

           Kappa   : 0.9949

    McNemar's Test P-Value : NA

Statistics by Class:

              class: 1 class: 2 class: 3
Sensitivity    1.0000  1.0000  0.9848
Specificity    1.0000  0.9927  1.0000
Pos Pred Value 1.0000  0.9957  1.0000
Neg Pred Value 1.0000  1.0000  0.9967
Prevalence     0.1924  0.6287  0.1789
Detection Rate 0.1924  0.6287  0.1762
Detection Prevalence 0.1924  0.6314  0.1762
Balanced Accuracy 1.0000  0.9964  0.9924
> |
```

### Validación estadística de la clasificación supervisada del 2024

```
Confusion Matrix and Statistics

      Reference
Prediction 1  2  3
1         74  1  0
2          1 281  0
3          0  1  58

Overall Statistics

           Accuracy : 0.9928
           95% CI   : (0.9791, 0.9985)
    No Information Rate : 0.6803
    P-Value [Acc > NIR] : < 2.2e-16

           Kappa   : 0.9852

    McNemar's Test P-Value : NA

Statistics by Class:

              class: 1 class: 2 class: 3
Sensitivity    0.9867  0.9929  1.0000
Specificity    0.9971  0.9925  0.9972
Pos Pred Value 0.9867  0.9965  0.9831
Neg Pred Value 0.9971  0.9851  1.0000
Prevalence     0.1803  0.6803  0.1394
Detection Rate 0.1779  0.6755  0.1394
Detection Prevalence 0.1803  0.6779  0.1418
Balanced Accuracy 0.9919  0.9927  0.9986
> |
```

**Anexo 13:** Áreas de las clases calculadas en RStudio.

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2015							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1553993	1398593700	139859.37	1398.5937	91.4956366	Bosques
2	2	113187	101868300	10186.83	101.8683	6.66419773	Suelo deforestado
3	3	31254	28128600	2812.86	28.1286	1.84016571	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2016							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1524075	1371667500	137166.75	1371.6675	89.7341316	Bosques
2	2	158031	142227900	14222.79	142.2279	9.30451227	Suelos deforestados
3	3	16328	14695200	1469.52	14.6952	0.96135617	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2017							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1454596	1309136400	130913.64	1309.1364	85.6433632	Bosques
2	2	210268	189241200	18924.12	189.2412	12.3801101	Suelos deforestados
3	3	33570	30213000	3021.3	30.213	1.97652661	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2018							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1442587	1298328300	129832.83	1298.3283	84.9363001	Bosques
2	2	217270	195543000	19554.3	195.543	12.7923723	Suelos deforestados
3	3	38577	34719300	3471.93	34.7193	2.27132759	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2019							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1433824	1290441600	129044.16	1290.4416	84.4203543	Bosques
2	2	214672	193204800	19320.48	193.2048	12.6394078	Suelos deforestados
3	3	49938	44944200	4494.42	44.9442	2.94023789	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2020							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1457613	1311851700	131185.17	1311.8517	85.8209975	Bosques
2	2	212822	191539800	19153.98	191.5398	12.530484	Suelos deforestados
3	3	27999	25199100	2519.91	25.1991	1.64851858	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2021							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1435301	1291770900	129177.09	1291.7709	84.5073167	Bosques
2	2	233917	210525300	21052.53	210.5253	13.7725104	Suelos deforestados
3	3	29216	26294400	2629.44	26.2944	1.72017282	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2022							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1467172	1320454800	132045.48	1320.4548	86.38381	Bosques
2	2	200047	180042300	18004.23	180.0423	11.7783205	Suelos deforestados
3	3	31215	28093500	2809.35	28.0935	1.83786947	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2023							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1397913	1258121700	125812.17	1258.1217	82.3059948	Bosques
2	2	286456	257810400	25781.04	257.8104	16.8658894	Suelos deforestados
3	3	14065	12658500	1265.85	12.6585	0.82811578	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

Clasificación supervisada mediante el método CART para el periodo 2024							
id	Clase	count	metros	hectáreas	km <sup>2</sup>	porcentaje	Clases
1	1	1351825	1216642500	121664.25	1216.6425	79.5924363	Bosques
2	2	274389	246950100	24695.01	246.9501	16.1554114	Suelos deforestados
3	3	72220	64998000	6499.8	64.998	4.25215228	Agua
<b>Summa</b>		<b>1698434</b>	<b>1528590600</b>	<b>152859.06</b>	<b>1528.5906</b>	<b>100</b>	

#### Anexo 14: Script de python para la elaboración del gráfico de t-test.

```
import numpy as np
import scipy.stats as stats
import matplotlib.pyplot as plt

# Parámetros de la prueba t para Bosques y NP
t_stat = 3.7937 # Estadístico t
df = 9 # Grados de libertad
alpha = 0.05 # Nivel de significancia

# Crear valores para la distribución t
x = np.linspace(-5, 5, 500)
y = stats.t.pdf(x, df)

# Calcular el valor crítico para la región de rechazo
t_critical = stats.t.ppf(1 - alpha/2, df)

# Crear la figura
plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(x, y, label="Distribución t", color="blue")

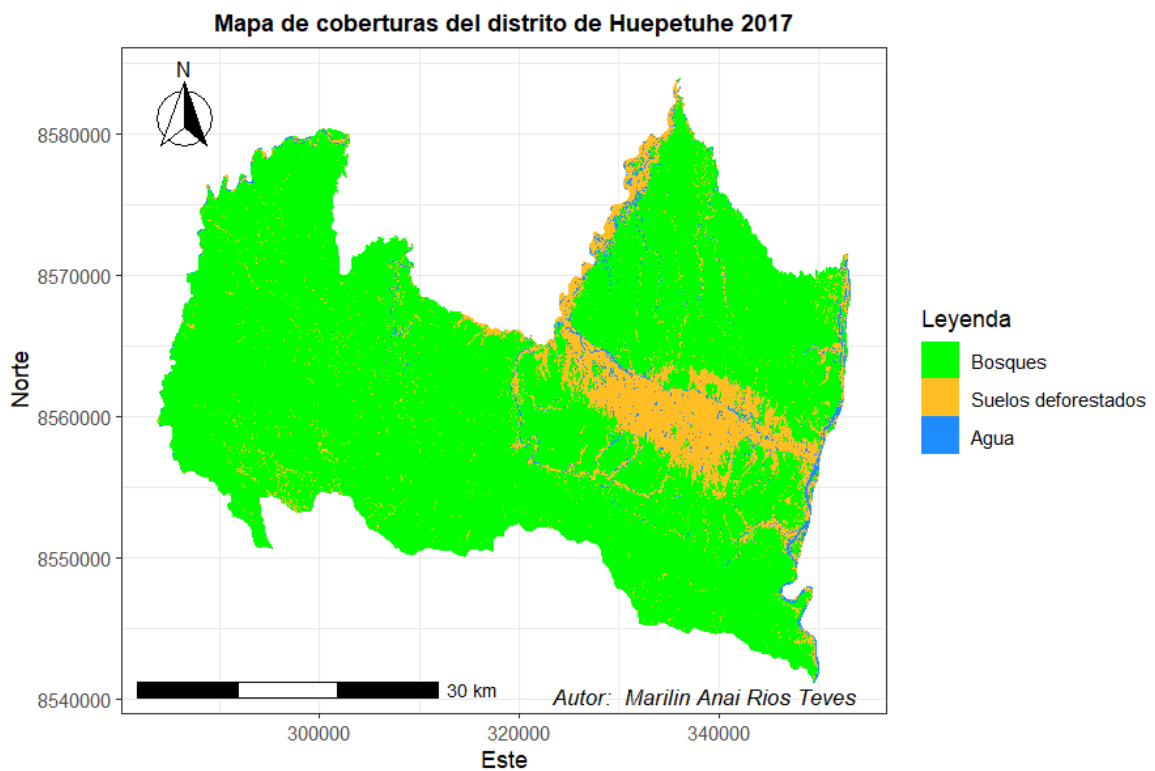
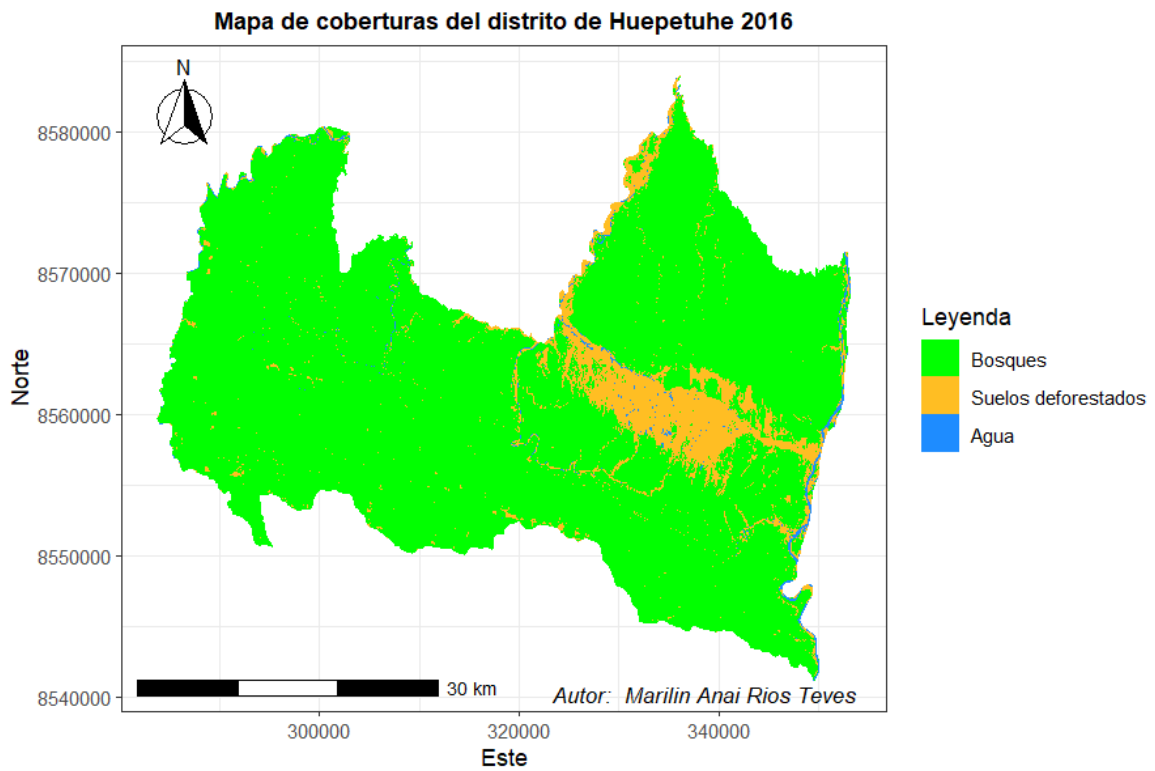
# Marcar la región de rechazo en los extremos
plt.fill_between(
    x, y,
    where=(x >= t_critical) | (x <= -t_critical),
    color="red", alpha=0.5, label="Región de rechazo"
)

# Marcar el estadístico t obtenido
plt.axvline(t_stat, color="black", linestyle="--", label="t obtenido")

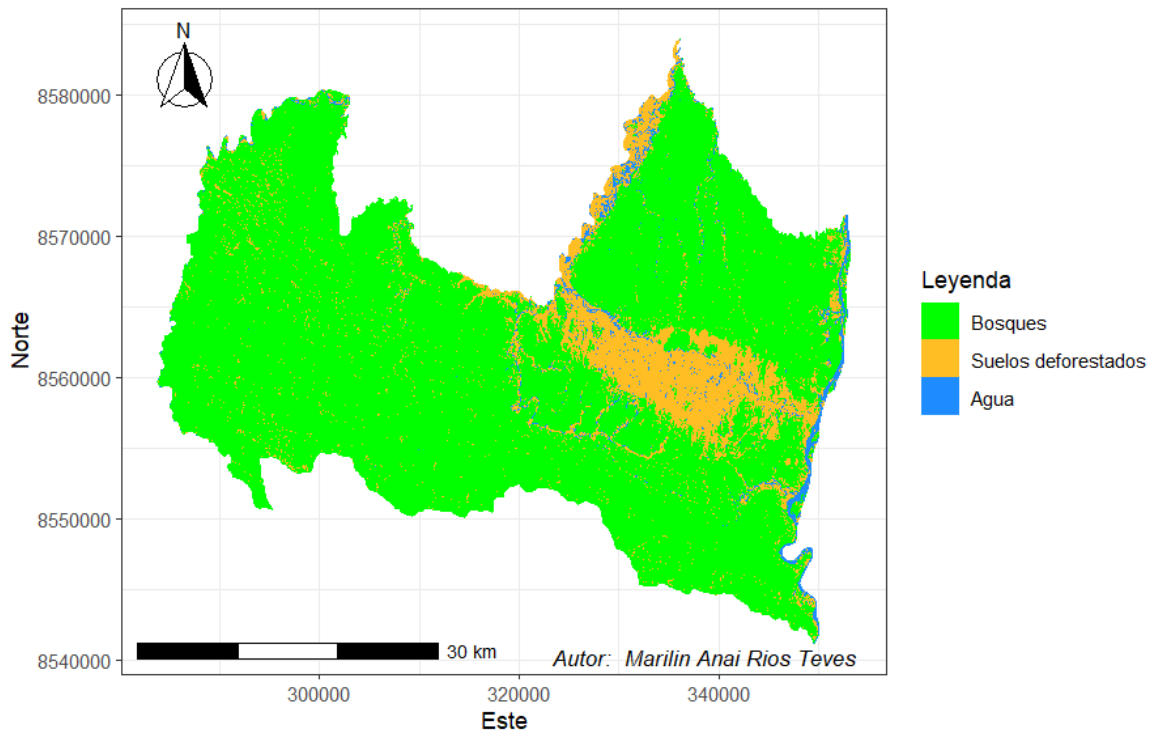
# Etiquetas
plt.title("Distribución t con regiones de rechazo")
plt.xlabel("Valor t")
plt.ylabel("Densidad de probabilidad")
plt.legend()
plt.grid()

# Mostrar la gráfica
plt.show()
```

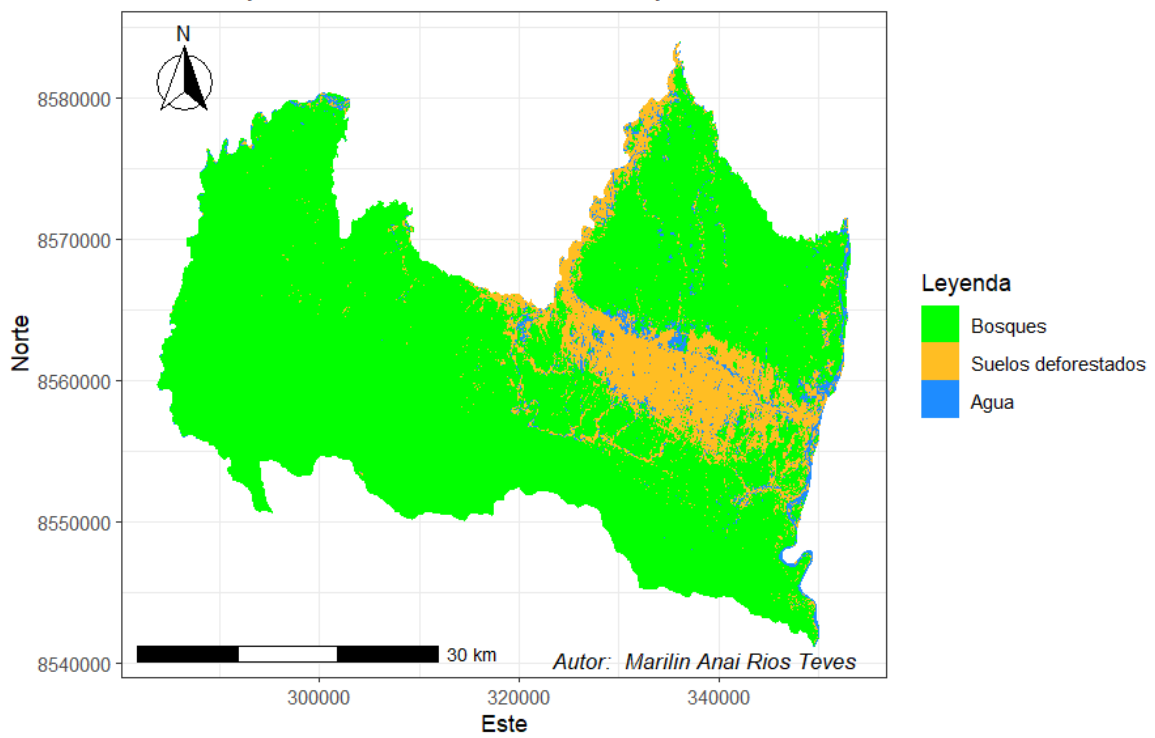
### Anexo 15: Mapas de cobertura del distrito de Huepetuhe elaborado en RStudio.



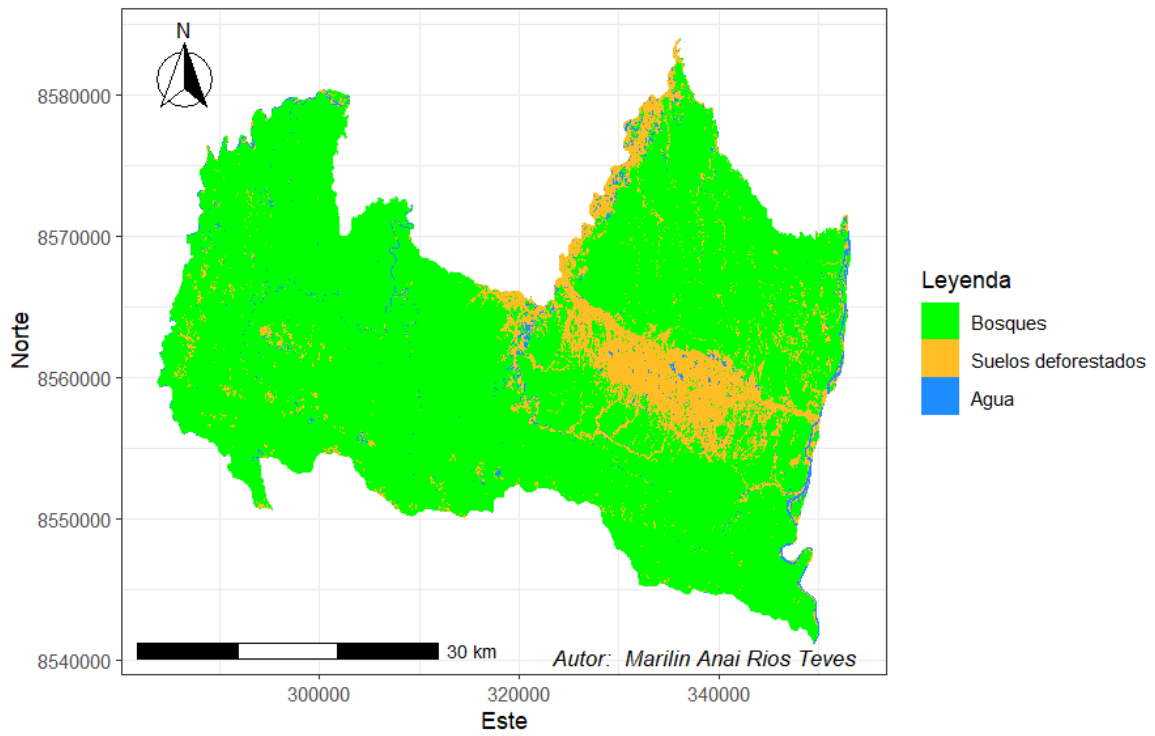
Mapa de coberturas del distrito de Huepetuhe 2018



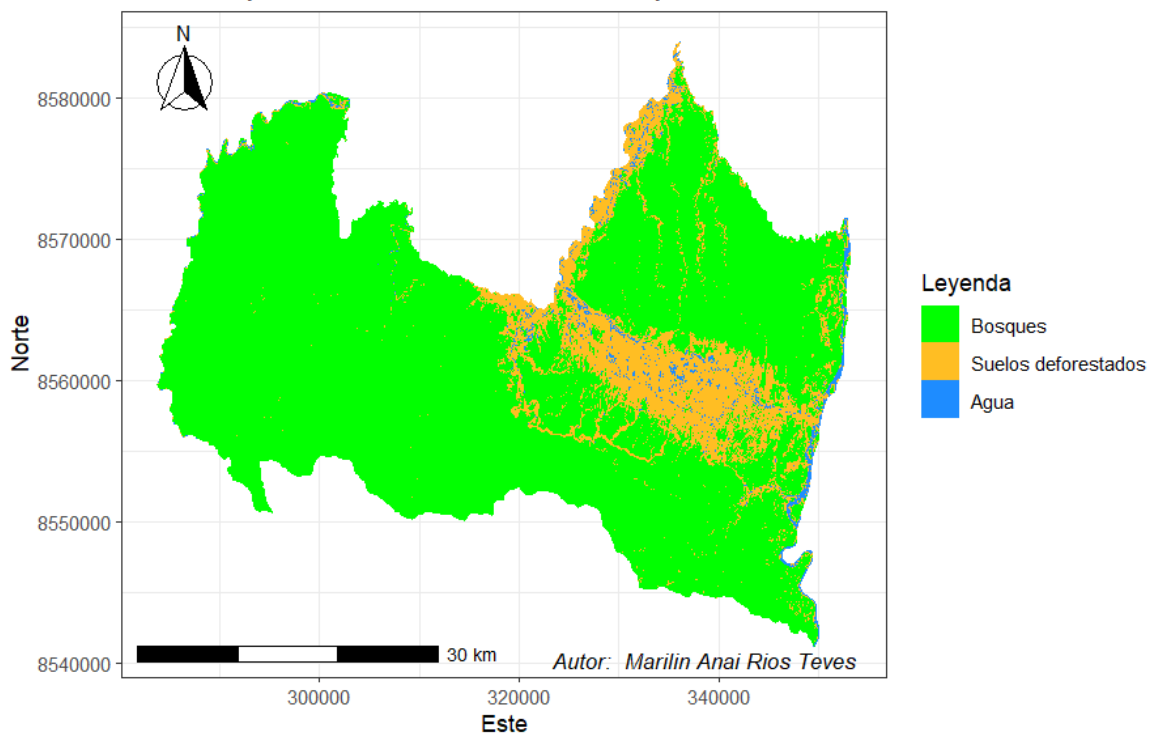
Mapa de coberturas del distrito de Huepetuhe 2019



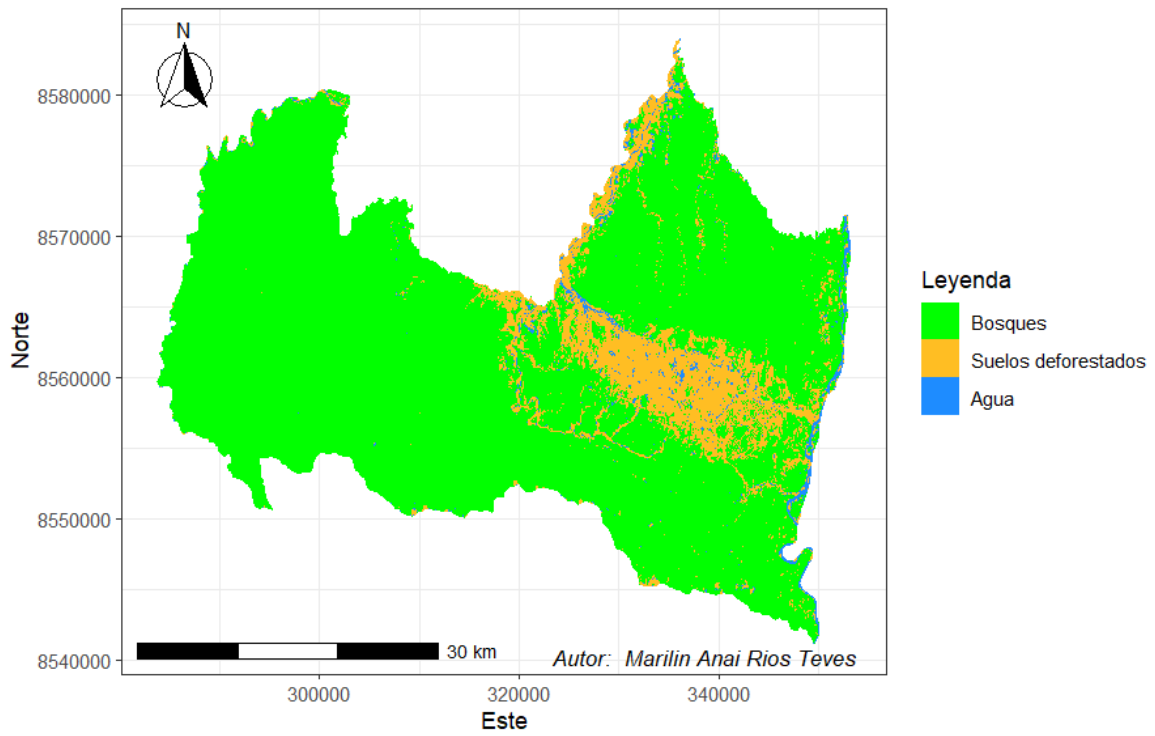
Mapa de coberturas del distrito de Huetpetuhe 2020



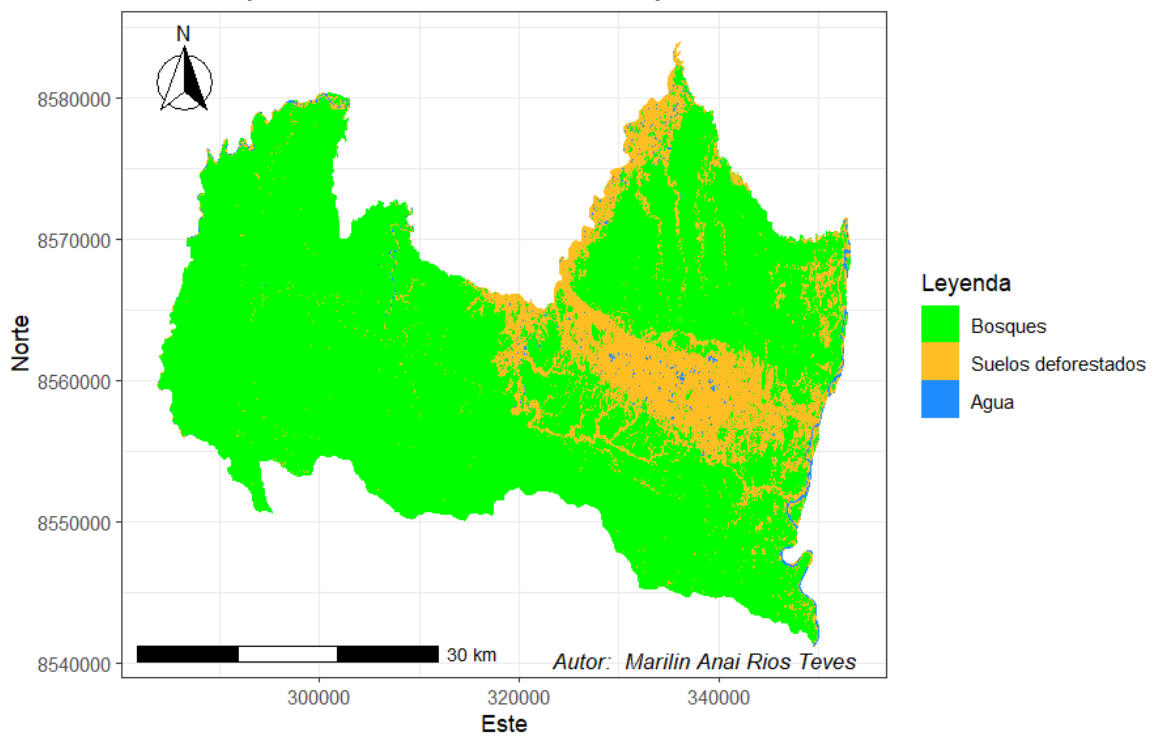
Mapa de coberturas del distrito de Huetpetuhe 2021



Mapa de coberturas del distrito de Huetpetuhe 2022



Mapa de coberturas del distrito de Huetpetuhe 2023



**Anexo 16.** Panel fotográfico.



**Nota:** Fragmentación del paisaje en el río Inambari.



**Nota:** Fragmentación de bosque en el distrito de Huepetuhe.



**Nota:** Fragmentación del paisaje en los distritos próximos al río inambari.