



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Unidad de Posgrado

Análisis espacial de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu en la región Madre de Dios periodo 1990-

2022

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magister en Ciencias
Ambientales con mención en Gestión y Ordenamiento Ambiental
del Territorio

AUTOR

Jhon Ronald MENDOZA ROBLES

ASESOR

Mg. Augusto Guillermo BRAVO MALCA

Lima, Perú

2026



Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual – Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mendoza, J. (2026). *Analisis espacial de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu en la región Madre de Dios periodo 1990-2022*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jhon Ronald Mendoza Robles.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	43496124
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-6638-9659
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Augusto Guillermo Bravo Malca
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06016801
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6314-9919
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Raúl López Kohler
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	21079898
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	José Ronald Vásquez Sánchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	42205298
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Walter Aparicio Arévalo Gómez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09050786
Datos de investigación	

Línea de investigación	Teledetección
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: País: Perú Departamento: Madre de Dios Provincia: Tahuamanu Distrito: Urbanización: Avenida: Latitud: -11.407201 Longitud: -69.491029
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2024 - 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería ambiental, Sensores remotos: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.04 Ciencias de la tierra y ciencias ambientales, Geociencias, Multidisciplinar https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los veintiséis días del mes de febrero del año dos mil veintiséis, siendo las diez horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000113-2026-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 16 de febrero del 2026, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«ANÁLISIS ESPACIAL DE ÁREAS QUEMADAS EN LA PROVINCIA DEL TAHUAMANU EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS PERIODO 1990–2022»

Presentado por el Bach. **JHON RONALD MENDOZA ROBLES**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **CIENCIAS AMBIENTALES** con mención en **GESTIÓN Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° UNMSM-20240013885, de fecha 08 de febrero del 2024, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

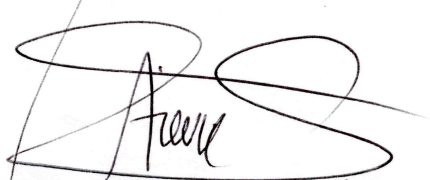
Buena (16)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER** en **CIENCIAS AMBIENTALES** con mención en **GESTIÓN Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO** a la Bach. **JHON RONALD MENDOZA ROBLES**.

Siendo las 11:00 horas, se dio por concluido al acto académico.


DR. JOSÉ RAÚL LÓPEZ KOHLER
Presidente


DR. JOSÉ RONALD VÁSQUEZ SÁNCHEZ
Secretario


DR. WALTER APARICIO ARÉVALO GÓMEZ
Miembro


MG. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA
Asesor



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **MG. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen Nº 000088-2024-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es «**ANALISIS ESPACIAL DE ÁREAS QUEMADAS EN LA PROVINCIA DEL TAHUAMANU EN LA REGIÓN MADRE DE DIOS PERIODO 1990–2022**», presentado por el Bach. **JHON RONALD MENDOZA ROBLES**, para optar el Grado Académico de **MAGISTER EN CIENCIAS AMBIENTALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN Y ORDENAMIENTO AMBIENTAL DEL TERRITORIO** que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **12%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.

Lima, 02 de junio de 2025

Firma del Asesor:

Nombres y apellidos del asesor: **AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA.**

DNI: **06016801**

Dedicatoria

A mi familia, fuente de
inspiración e invariable apoyo
constante que hizo posible este
momento.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento en primer lugar al gran YO SOY, al ELOHIM de Israel, por brindarme la oportunidad de continuar mi avance profesional. En segundo lugar, a mi familia por estar conmigo, a Tarcila por su apoyo y a mi gato por mantenerme despierto.

ÍNDICE GENERAL

CARÁTULA.....	I
PÁGINA DE ACEPTACIÓN Y/O APRECIACIÓN DE LA TESIS.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE GENERAL	V
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
Capítulo I.	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	17
1.2.1. Problema general.	17
1.2.2. Problemas específicos.	17
1.3. JUSTIFICACIÓN.	18
1.3.1. Justificación teórica.	18
1.3.2. Justificación práctica.....	19
1.4. OBJETIVOS.....	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos.....	20
1.5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	21
15.1. Hipótesis general	21
15.2. Hipótesis específicas.	21

1.5.3. Matriz de consistencia.....	22
Tabla 1. Matriz de Consistencia.....	22
Capítulo II.....	26
MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	26
2.1.1. Antecedentes internacionales	26
2.1.2. Antecedentes nacionales	28
2.2. BASES TEÓRICAS.....	31
2.2.1. Teledetección	32
2.2.2. Daño Forestal	39
Capítulo III.....	44
METODOLOGÍA.....	44
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.1.1. Tipo de investigación	44
3.1.2. Diseño de la Investigación	44
3.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.2.1. Primera Variable.....	44
3.2.2. Segunda Variable.....	44
3.2.3. Matriz de operacionalización de variables	46
3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	47
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.4.1. Población.....	47
3.4.2. Muestra.....	47
3.4.3. Selección de la muestra / Muestreo.....	48
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	48
3.5.1. Técnicas de investigación.....	48

3.5.2. Recolección de datos	48
3.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	55
Capítulo IV	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1.1. Superficies de cicatrices de áreas quemadas	57
4.1.2. Determinación de patrones de distribución espacial.....	59
4.1.3. Afectación de las quemas en los ecosistemas de la provincia del Tahuamanu	65
4.1.4. Afectación de las quemas y el uso de suelo en la provincia del Tahuamanu.....	66
4.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS. 69	
4.2.2. Del Mapa de Frecuencias	81
4.2.3. De la determinación de patrones de distribución espacial 82	
4.2.4. Otros análisis. Evolución (2002-2022) de las cicatrices de áreas quemadas en las concesiones forestales	96
4.2.5. Análisis de la evaluación de la precisión y exactitud de las cicatrices de áreas quemadas	102
4.3. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.	108
CONCLUSIONES.	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS.....	128

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Consistencia.	22
Tabla 2. Codificación para las clases y subclases para el mapa de uso de suelo. Fuente: (Ministerio del Ambiente (MINAM), s/f).....	54
Tabla 3. Cicatrices de áreas quemadas em el área de estudio para el Periodo de tiempo 1990-2022. Fuente: Elaboración propia.	57
Tabla 4. Presencia de Ecosistemas en la provincia del Tahuamanu. Fuente: (MINAM, 2019)	65
Tabla 5. Afectaciones de los ecosistemas en la provincia del Tahuamanu producto de las quemas. Fuente: Elaboración propia	65
Tabla 6. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2000. Fuente: Elaboración propia	67
Tabla 7. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2005. Fuente: Elaboración propia	67
Tabla 8. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2011. Fuente: Elaboración propia	67
Tabla 9. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2013. Fuente: Elaboración propia	67
Tabla 10. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 11. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2018. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 12. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2020. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 13. Superficies de cicatrices de áreas quemadas en los 3 distritos de la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.	79
Tabla 14. Valores de p-values del comparativo de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner.	90

Tabla 15. Matrices de Confusión e índice de Kappa para los periodos analizados 1992, 2012 y 2022	106
Tabla 16. Resultados del modelo de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia.....	109
Tabla 17. Resultados de la prueba Dickey-Fuller. Fuente: Elaboración propia.	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Patrones espaciales y su relación con la Autocorrelación espacial. Fuente: Siabato & Guzmán-Manrique, 2019.....	36
Figura 2. Ejemplo de Índice Global de Moran I. Fuente: Hidalgo, 2019	38
Figura 3. Mapa de Ubicación. Fuente: Elaboración propia.....	45
Figura 4. Flujograma del Estudio. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 5. Mapa de superficies de áreas quemadas anuales 1990-2022. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 6. Mapa de Frecuencias de quemas en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	61
Figura 7. Reporte de autocorrelación positiva del índice Global de Moram I.....	62
Figura 8. Mapa de puntos calientes de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 9. Mapa de clúster y valor atípicos en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 10. Mapa de Ecosistema Nacional de la provincia del Tahuamanu. Fuente: (MINAM, 2019)	66
Figura 11. Mapa de cicatrices de áreas quemadas acumuladas entre los años 1990-2022 en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 12. Distribución de todas las imágenes Landsat colectadas para el Path/Row: 002/068. Fuente: Elaboración propia.	72
Figura 13. Distribución de todas las imágenes Landsat colectadas para el Path/Row: 003/068. Fuente: Elaboración propia.	73

Figura 14. Problemas de nubosidad y escaneo en las imágenes Landsat 5. Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 15. Evolución de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu 1990-2022. Fuente: Elaboración propia. ..	75
Figura 16. Prueba Mann-Kendall. Fuente: Elaboración propia.	77
Figura 17. Evolución de las cicatrices de áreas quemadas en los tres distritos que pertenecen a la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 18. Superficies afectadas de las quemas sobre los ecosistemas presentes en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 19. Afectación de las quemas en el uso de suelo. Fuente: Elaboración propia.....	93
Figura 20. Gráfico de dispersión entre la superficie agrícola y la superficie quemada en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	95
Figura 21. Gráfico de dispersión entre la superficie pastizales/herbazales y la superficie quemada en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	96
Figura 22. a) Muestra la evolución de las quemas en concesiones forestales, en este gráfico no se llega a apreciar las concesiones que tienen menor superficie. b) Muestra la evolución de las concesiones de Conservación, PFDM y Ecoturismo. Fuente: Elaboración propia....	99
Figura 23. Incremento de las superficies de áreas quemadas en el año 2022 dentro de la Concesión de Conservación (17-TAM/C-CON-J002-05) que también es un Ecosistema Frágil (Noaya). Fuente: Elaboración propia.	100
Figura 24. Imagen Landsat de las cicatrices de áreas quemadas en las Concesiones Forestales en la Provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.....	101

Figura 25. Mapas de distribución de las muestras de evaluación en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.	103
Figura 26. a, b, y c) Imágenes Landsat 8 de Cicatrices de Áreas Quemadas. d) Polígonos delimitados de las Cicatrices de Áreas Quemadas, los polígonos rojos son productos de los Incendios detectados por MODIS-MCD64A1, los puntos son las muestras para la validación. Fuente: Elaboración propia.	105
Figura 27. Tendencia de las Cicatrices de Áreas Quemadas en la Provincia de Tahuamanu: Análisis de Regresión Lineal (1990-2022). Fuente: Elaboración propia.	109
Figura 28. Descomposición de la serie de tiempo de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu 1990-2024. Fuente: Elaboración propia.....	111

RESUMEN

Este estudio tiene como propósito comprender la evolución de las áreas quemadas en la provincia de Tahuamanu, Perú, evaluando sus efectos en los ecosistemas locales desde 1990 hasta 2022. Utilizando imágenes satelitales Landsat y la plataforma de análisis Google Earth Engine, se identificaron y evaluaron las áreas afectadas por incendios. Para este análisis, se aplicaron herramientas de estadística espacial, como índices de autocorrelación y análisis de puntos calientes, con el objetivo de determinar los patrones de distribución espacial de los incendios.

Los hallazgos del estudio revelan un incremento considerable en las zonas quemadas, con un aumento del 400% en la superficie afectada. En 1992, las áreas quemadas comprendían 2,464.75 hectáreas, mientras que para 2022 se alcanzaron 25,957.60 hectáreas. El distrito de Iberia se destacó como el área con mayor concentración de incendios, lo cual fue corroborado mediante el análisis de puntos calientes, evidenciando una concentración geográfica significativa de estos eventos.

En el análisis de los resultados, se concluye que las estrategias de manejo del fuego implementadas en la región no han logrado controlar eficazmente la incidencia de incendios, provocando efectos adversos sobre el ciclo hidrológico y la conectividad ecológica de los ecosistemas

afectados. Además, se observó que los patrones de los incendios presentan una distribución aleatoria, y que los ecosistemas más impactados son aquellos compuestos por bosques y pastizales.

Palabras clave: Incendio, Quema, Landsat, Geoestadística, Tahuamanu

ABSTRACT

This study aims to understand the evolution of burned areas in the Tahuamanu province of Peru, assessing their effects on local ecosystems from 1990 to 2022. Utilizing Landsat satellite imagery and the Google Earth Engine analysis platform, affected areas were identified and evaluated. Spatial statistical tools, such as autocorrelation indices and hotspot analysis, were applied to determine the spatial distribution patterns of the fires.

The findings reveal a significant increase in burned areas, with over a 400% rise in affected surface area. In 1992, burned areas comprised 2,464.75 hectares, while by 2022, this increased to 25,957.60 hectares, with Iberia district showing the highest concentration of fires, as corroborated by hotspot analysis. Additionally, the Mann-Kendall test yielded a value of 3.6876, confirming that the trend in fire incidence is highly significant.

The analysis concludes that fire management strategies implemented in the region have not effectively controlled fire incidence, leading to adverse effects on the hydrological cycle and ecological connectivity of the impacted ecosystems. Furthermore, fire patterns exhibit a random distribution, with the most affected ecosystems being forests and grasslands.

Keywords: Fire, Burning, Landsat, Geostatistics, Tahuamanu.

Capítulo I.

INTRODUCCIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La Provincia del Tahuamanu, está ubicada dentro del Departamento de Madre de Dios que es la capital de la biodiversidad, ha sido testigo de un progresivo deterioro de sus ecosistemas, debido a los incendios, la cual, ha producido cuantiosas pérdidas, que generalmente son de origen antropogénico, ya que las principales causas son las prácticas agrícolas, ganadera, provocando la quema de nuevas áreas o superficies ya establecidas para estas actividades.

Estas prácticas de agricultura y ganadería que son frecuentemente utilizadas para retirar la cobertura vegetal, provocaron un aumento en la frecuencia e intensidad de las quemas, muchos de los cuales salen de control, causando pérdidas materiales, afectando más áreas de lo previsto.

La falta de estudios históricos relacionados a las quemas, han dificultado de implementación de políticas efectivas en prevención y gestión del fuego, ya que se desconoce la magnitud, y la distribución de patrones espaciales de estos eventos. Estos resultados quedarán a disposición de los tomadores de decisiones a fin de generar proyectos para mitigar los impactos de las actividades humanas que se suscitan en el mencionado espacio geográfico.

Sin un estudio detallado que permita entender la magnitud y la distribución de estos eventos, se corre el riesgo de que esta problemática siga avanzando, tanto que llegará un punto de no retorno, afectando tanto a la diversidad biológica como a la actividad económica en la provincia del Tahuamanu.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. Problema general.

¿En qué medida el análisis de la dinámica de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios, durante el periodo de 1990 a 2022, ayuda a conocer la afectación a sus ecosistemas?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿La identificación de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento Madre de Dios entre 1990 y 2022, permite determinar la afectación a sus ecosistemas?
- ¿Conocer los patrones de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990-2022, coadyuva a determinar la afectación a sus ecosistemas?
- ¿La determinación de las áreas afectadas por las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990-2022 permite conocer los ecosistemas impactados?

1.3. JUSTIFICACIÓN.

1.3.1. Justificación teórica.

La pesquisa contribuye significativamente a varios campos de la ciencia, como la Geografía, Silvicultura, Ecología, entre otros, al tocar un tema importante sobre el estudio histórico de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu – Madre de Dios, ampliando el conocimiento sobre la evolución de esta acción, utilizando técnicas avanzadas de sensoramiento remoto.

El periodo de investigación 1990-2022 representa una ventana histórica que permitirá entender como las superficies y frecuencias evolucionaron, así como también, su relación con el uso de suelo (agricultura) a lo largo del tiempo. Pero también, más allá de la relevancia ambiental, también es necesario comprender la magnitud y los patrones de estos eventos, ya que esto permitirá a los gestores locales y regional tomar implementar medidas de conservación más precisas y estratégicas.

Con el uso de la plataforma computacional en la nube como Google Earth Engine (GEE), como gran contenedor de colecciones de imágenes satelitales asociados a diversos lenguajes de programación como JavaScript, Python y R, posibilita una mejor interpretación y clasificación de la cubierta terrestre.

En ese sentido, la metodología basada en el uso de esta plataforma (GEE) favorece al análisis histórico de las huellas producidas por áreas quemadas, representando una contribución metodología y académica

para diversas ramas de la ciencia, la cual también establece como un precedente para futuros estudios, no solo a nivel local, sino también a nivel país.

1.3.2. Justificación práctica

En la actualidad no se tiene registros en el sobre la dinámica de estos eventos usando sensores remotos, la cual tiene una práctica significativa para la gestión territorial y planificación de la Provincia del Tahuamanu y el mismo departamento de Madre de Dios.

La cartografía de áreas quemadas y su evolución temporal, brindará a los tomadores decisiones una herramienta valiosa para comprender y ubicar en que lugares se da principalmente donde se dan estos eventos, permitiendo generar estrategias para una mejor gestión del uso del fuego en el contexto del cambio climático y el aumento de la presión sobre los ecosistemas amazónicos.

Así mismo, el mapa de Frecuencias de Áreas Quemadas y HotSpot (o mapas de densidades), será un instrumento para identificar zonas de riesgo, en la cual, a los tomadores decisiones les permitirá implementar medidas correctivas y preventivas, así como también, implementar medidas para la restauración ecológica.

Finalmente, el resultado de la investigación (tanto la metodología y mapas), servirá como datos de entrenamiento para mejorar el sistema de alerta temprana para los diversos organismos que tiene el estado nacional como regional y entidades privadas, lo que podría reducir

significativamente los daños ecológicos y materiales producidos por estos eventos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar la dinámica de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios, durante el periodo de 1990 a 2022, y su afectación a sus ecosistemas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento Madre de Dios entre 1990 y 2022.
- Determinar los patrones de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990-2022.
- Determinar la afectación de las quemas en los principales ecosistemas de la provincia del Tahuamanu.

1.5. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

15.1. Hipótesis general

El análisis de la dinámica de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 - 2022, afecta a sus ecosistemas.

15.2. Hipótesis específicas.

- La identificación de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 y 2022, ayuda a determinar la afectación de sus ecosistemas.
- Determinar los patrones de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 y 2022, permite conocer la afectación de sus ecosistemas.
- La afectación de las quemas en los principales ecosistemas de la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 y 2022, es el resultado del análisis de su dinámica.

1.5.3. Matriz de consistencia.

Tabla 1. Matriz de Consistencia.

Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Técnicas de recolección
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		
¿En qué medida el análisis de la dinámica de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios, durante el periodo de 1990 a 2022,	Analizar la dinámica de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios, durante el periodo de 1990 a	El análisis de la dinámica de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 - 2022, afecta a sus ecosistemas.	Primera Variable Dinámicas de las quemas Segunda Variable Afectación de los Ecosistemas	Observación Clasificación Supervisada Aplicación de índices: NBR, NDVI, EVI, SAVI

ayuda a conocer la afectación a sus ecosistemas?	2022, y su afectación a sus ecosistemas.			
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variables	Técnicas de recolección
¿La identificación de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento Madre de Dios entre 1990 y 2022, permite determinar la	Identificar las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento Madre de Dios entre 1990 y 2022.	La identificación de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 y 2022, ayuda a determinar la afectación de sus ecosistemas.	Primera Variable Dinámica de las quemadas Segunda Variable Afectación de los Ecosistemas	Google Earth Engine MODIS Autocorrelación espacial

afectación a sus ecosistemas?				Índice Global de Moran
¿Conocer los patrones de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990-2022, coadyuva a determinar la afectación a sus ecosistemas?	Determinar los patrones de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990-2022.	Determinar los patrones de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 y 2022, permite conocer la afectación de sus ecosistemas.		Ecosistema Nacional

¿La determinación de las áreas afectadas por las quemas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990-2022 permite conocer los ecosistemas impactados?	Determinar la afectación de las quemas en los principales ecosistemas de la provincia del Tahuamanu.	La afectación de las quemas en los principales ecosistemas de la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios entre 1990 y 2022, es el resultado del análisis de su dinámica.		
--	--	---	--	--

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cruz, M. (2018). Una aproximación para estimar la Eficiencia del Quemado usando Productos Satelitales. Caso de Estudio: México. GeoFocus, n° 21, p. 119-143. El objetivo del estudio es evaluar una alternativa para estimar la Eficiencia de Quemado (EQ) con el uso de imágenes satelitales; para determinar los combustibles, se usaron productos de los sensores MODIS, Landsat y ALOS Palsar. Estas mediciones se usaron en bosques templados y bosques tropicales. El modelo reportó que la mejor estimación de la Eficiencia de Quemado usando productos satelitales dan menor incertidumbre en los bosques templados que en bosques tropicales, debido a que este último presenta mayor variabilidad en sus componentes, sin embargo, el investigador manifiesta que aún falta ajustar aún más la resolución espacial de los productos satelitales para reducir aún más el error.

Rosales, Y. (2019). Estimación de áreas afectadas por incendios forestales y dispersión de aerosoles emitidos. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (Tesis de Maestría). San Luis de Potosí, México. La investigación estuvo orientada a analizar las áreas arruinadas y los gases de efecto invernadero generado por los Incendios Forestales. El investigador usó Sistemas de Información Geográfica y procesamiento

de imágenes satelitales para determinar las cicatrices de áreas quemadas para el año 2017 en la provincia de Yucatán, dando como resultado un aproximado de 130 mil hectáreas quemadas en la temporada de quemas y una biomasa quemada de 12.4 millones de mega gramos, que puede ser extendida hacia otras regiones por acción del viento, causando problemas ambientales y salubridad.

Mancilla, D. (2020). Efectos del incendio forestal del año 2017 en la provisión de servicios ecosistémicos y la recuperación del paisaje. Caso microcuenca Estero Empedrado, Departamento de Geografía (Tesis de Maestría). Universidad de Concepción. Chile. El estudio se centra en analizar los efectos del incendio, pre ocurrencia (2016-2017) y post ocurrencia (2017-2020) en la microcuenca del Estero Empedrado, la cual brinda servicios ecosistémicos interanualmente, en la cual, determinó que el evento afectó severamente a los servicios de regulación y cultural.

Santacruz, A. (2020). Impacto del fuego en la defensa de las plantas: Rasgos funcionales y síntesis de metabolitos secundarios en especies leñosas del Chaco semiárido de Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina. En la presente investigación el autor manifiesta que hay dos tipos de respuestas de las plantas frente al fuego, inflamabilidad, que es la capacidad de las especies de entrar en ignición y consumirse, y la tolerancia al fuego, capacidad de regenerarse y sobrevivir. Este estudio evaluó la inflamabilidad, analizando los cambios en rasgos funcionales y la biosíntesis de los vegetales en respuesta al fuego. Los resultados

indicaron que la altura, área foliar, contenido de agua y compuestos volátiles, fueron los rasgos funcionales relevantes para determinar los grupos de especies que tienen diferentes tipos de respuesta frente a la inflamabilidad.

Michalijos, M. (2018). Estudio del Riesgo de Incendio Forestal en un Sector de La Comarca de la Sierra de la Ventana Utilizando Geotecnologías. Departamento de Geografía y Turismo (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. El estudio demostró que el área de estudio es una zona de alta peligrosidad de ocurrencia y propagación de los incendios por los tipos de usos actividad económica que se practican. El investigador usó técnicas de Teledetección para poder demostrar la alta vulnerabilidad ecológica que tiene a través de los Índices de Vegetación Normalizada. Finalmente, el pesquisador generó algunas propuestas por un lado a la población que usa a tierra y para los tomadores de decisiones, todos, destinados en un fin común, reducir el riesgo del incendio forestal en un sector de la Comarca de la Sierra de la Ventana.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Marín, C. (2022). Sistemas de Información Geográfica y Teledetección para analizar incendios forestales y sus consecuencias en el refugio de vida silvestre Laquipampa. Facultad de Ingeniería y Arquitectura (Tesis de Ingeniería). Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú. El investigador usó técnicas de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección para analizar los Incendios Forestales con la finalidad de tomar medidas de

recuperación de las zonas afectadas. Para ello procesó imágenes Landsat 8 OLI para obtener el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) y Índice de Área Quemada (NBR por sus siglas en inglés), con el propósito de generar los límites afectados y la severidad de la ocurrencia. La pesquisa concluye que la severidad del incendio obtuvo valores altos en el NBR, donde hubo modificaciones solo en el año donde ocurrió el evento, por ello se presentó una brusca reducción de los niveles de regeneración porque hubo una calcinación de la superficie total de vegetación y la pérdida de materia orgánica por encima y por debajo del suelo. Agrega también, que estos datos son necesarios para la planificación de actuaciones posteriores

Miranda, R. (2021). Estimación de la Gravedad de Quemas a través de Sensores de Radar de Apertura Sintética (SAR) en el distrito de Tahuamanu – Madre de Dios, Periodo 2020. Facultad de Ingeniería (Tesis de Ingeniería). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Madre de Dios, Perú. El estudio tiene como objeto determinar la gravedad de las quemas usando sensores RADAR (Sentinel 1) para el periodo 2020 en el distrito del Tahuamanu – Madre de Dios. El estudio cuantificó áreas quemadas mediante el empleo de valores absolutos, relativos y RBR de 2 963,34 ha (Ab_Rel_VV_1), 3 108,27 ha (Ab_Rel_VV_2), 2 920,68 ha (Ab_Rel_VH_1), 3 972,73 ha (Ab_Rel_VH_1), y 3 496,21 ha (RDFI_VVVH) respectivamente. La evaluación de la precisión reportó que los cocientes de cruzamiento de valores absolutos y relativos de polarización cruzada VH_2 ($k=0.734$) y RBR por medio del RDFI ($k=0,799$) resultaron las más concordantes para determinar la severidad de quemas, finalizando que el

Índice Degradación Forestal del RADAR (RDFI) no presenta una confiabilidad considerable.

Guevara, B. (2021). Análisis de la deforestación ocasionada por incendios forestales en el periodo 2010-2020 en el distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (Tesis de Ingeniería). Universidad César Vallejo. Lima. El objetivo del estudio es determinar las áreas devastadas de la cobertura vegetal andina producida por los incendios forestales en el periodo 2010-2020 en Ccatcca, Quispicanchis, Cusco. Determinando que los incendios periódicos han reducido los bosques naturales, de la misma forma encontró que los factores meteorológicos y la deforestación tienen una baja relación y son estadísticamente no significativa. Culmina recomendando alimentar periódicamente la base de datos de ocurrencias de los incendios a escala local, para obtener estudios con mayor precisión, esto debido que la región carece de información histórica de las ocurrencias de los fuegos en el área de estudio.

Benavides, N. (2021). Análisis de la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, a través de imágenes Sentinel - 2 - Periodo 2019 - 2021, Cajamarca, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (Tesis de Ingeniería). Universidad César Vallejo. Lima. El estudio se centró en la determinar la severidad de los incendios forestales en el periodo 2019-2021 en la Granja Porcón - Cajamarca usando imágenes Multiespectral Sentinel 2. Encontrando que los valores menores a -0.5 de NBR (Índice Área Quemada) son zonas severamente quemadas,

perjudicando a la resiliencia del recurso suelo, mencionando que para el 2021, esas zonas, tienen baja tasa de regeneración de especies vegetativas.

Fernández, R. (2019). Evaluación de la superficie deforestada por efecto de los Incendios Forestales durante el periodo 2011 – 2016 en el Distrito Las Piedras – Tambopata - Madre De Dios. La tesis se basó en determinar la superficie deforestada por efecto de los incendios forestales periodo 2011-2016 en el distrito de Las Piedras-Tambopata-Madre de Dios, a través de sensoramiento remoto y focos de calor. Señala que las actividades agropecuarias son las que aumentan estas ocurrencias, determinando que para el periodo de estudio las áreas afectadas superan las 7 mil hectáreas, manifestando que existe una fuerte correlación positiva de considerable a muy fuerte entre los focos de calor y la superficie deforestada producida por los incendios forestales.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Análisis de imágenes satelitales

El Enfoque de desarrollo de la presente investigación se desarrolla en el uso de la Teledetección o Sensoramiento Remoto para la obtención de los mapas de cicatrices de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, departamento de Madre de Dios, Mapa de Puntos Calientes que servirá como base para su mapa de Gestión de Riesgos contra fuegos.

2.2.1.1. Teledetección

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra (Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2018).

La teledetección se originó por los años 1800 con la invención de la fotografía, sin embargo, en 1858, Gaspard-Félix Tournachon también conocido como “Nadar”, tomó la primera fotografía aérea desde el espacio sobre un globo aerostático en Francia (Campbell & Wynne., 2011).

La fotografía creció durante la primera guerra mundial, lo que significó un gran avance en la inteligencia militar (Campbell & Wynne., 2011).

Después de la segunda guerra mundial, la teledetección tuvo un cambio a la modernidad, ya que se lanzaron dos satélites como el Advance Very High Resolution Radiometer (AVHRR) y el Television Infrared Observation Satellite series (TIROS-N series), marcando un hito en el monitoreo de observación continuo de la tierra (Cracknell, 2007)

En 1972, con el lanzamiento del Landsat 1, marcó un hito en el monitoreo de la cubierta terrestre proporcionando imágenes multispectrales de forma regular, abriendo nuevas posibilidades para el monitoreo a escala global (Woodcock et al., 2008).

Un hito crucial fue el lanzamiento del primer satélite Landsat en 1972, que proporcionó imágenes multispectrales de la Tierra de forma regular.

Esto abrió nuevas posibilidades para el monitoreo de recursos naturales y el estudio de cambios ambientales a escala global (Woodcock et al., 2008).

El surgimiento de los sistemas de información geográfica (SIG) en los años 80, cambió la forma en el proceso y análisis de los datos de teledetección, lo que permitió la integración de múltiples capas de información espacial (Longley et al., 2015).

En la década pasada se ha visto un creciente desarrollo de sensores con mejor resolución espacial y temporal como el WorldView-3, que fue lanzado el 2014 con un tamaño de píxel de 31 cm (DigitalGlobe, 2014).

Recientemente, la teledetección vio una revolución con la aparición de los drones como monitoreo de corto alcance y el desarrollo de constelaciones (como PlanetScope) que son microsátélites que otorgan imágenes de toda la tierra (McCabe et al., 2017).

La introducción de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático están dando otro matiz en el procesos y análisis de las imágenes satelitales permitiendo una automatización de grandes volúmenes de datos (Ma et al., 2019).

2.2.1.2. Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma desarrollada por Google que permite realizar procesamiento geoespaciales a gran escala, utilizando bases de datos con millones de estos; uno de los principales intereses de esta plataforma es reducir el tiempo invertido en el preprocesamiento y

facilitar los análisis realizados con información geoespacial (Solórzano & Perilla, 2022).

El proceso de grandes volúmenes de información satelital en GEE, es debido a su buena estructura de computación bien distribuida, permitiendo las tareas de procesamiento en múltiples servidores, dando como resultado análisis complejos en tiempos muy cortos (Kumar & Mutanga, 2018).

El gran número de información satelital, datos climáticos, entre otros, es una de las principales ventajas de GEE, su catálogo se actualiza continuamente contando con información histórica y actuales, como Landsat, MODIS y muchos más (Tamiminia et al., 2020).

GEE utiliza entornos de programación como JavaScript, Python y R, permitiendo desarrollar aún más scripts y aplicaciones ricos en funciones facilitando el análisis y procesamiento de la data satelital (Amani et al., 2020).

Aunque GEE presenta muchas ventajas de procesamiento de información en grandes volúmenes, también presenta limitaciones, como la conexión a internet, descarga de datos para cuentas libres y la necesidad de adaptar códigos al paradigma de computación distribuida (Mutanga & Kumar, 2019).

A pesar de haber presentado las desventajas, GEE tiene un futuro prometedor, por la creciente adopción de esta herramienta a nuevos usuarios, esperando que los algoritmos evolucionen, así como también, incorporando nuevos conjuntos de datos (Kumar & Mutanga, 2018).

2.2.1.3. Geoestadística

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada que se especializa en el análisis y la modelación de la variabilidad espacial en ciencias de la tierra. Su objeto de estudio es el análisis y la predicción de fenómenos en espacio y/o tiempo, tales como: ley de metales, porosidades, concentraciones de un contaminante, etc. Aunque el prefijo geo- es usualmente asociado con geología, sin embargo, la geoestadística tiene sus orígenes en la minería (Díaz, 2002).

La geoestadística ha sido ampliamente aplicada en diversas ramas de las ciencias aplicadas y en las ingenierías, entre otras tenemos: petróleo, minería, pesca, geofísica marina, hidrogeología, medio ambiente, estudios forestales, salud pública, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, finanzas, ciencias de materiales, meteorología, edafología, etc. (Díaz, 2002).

2.2.1.4. Autocorrelación Espacial

La autocorrelación espacial indica la relación entre el valor de una variable existente en un punto dado y los de la misma variable en el entorno cercano de dicho punto (Olaya, 2020).

Así mismo, la autocorrelación espacial permite comprender la variación de un fenómeno en un marco geográfico de análisis comprendiendo los posibles niveles de agrupamiento (Siabato & Guzmán-Manrique, 2019):

- a) Autocorrelación positiva: Es cuando el fenómeno analizado tiende a agruparse en zonas uniformes, y forma un patrón de conglomerados o clústeres.
- b) Autocorrelación espacial negativa: Es cuando las medidas de la variable en las unidades colindantes son disímiles, formando un patrón disperso.
- c) Ausencia de Autocorrelación espacial: Es cuando no existe agrupamiento y tampoco resulta ser disperso, por el contrario, se concluye que forma un patrón aleatorio.

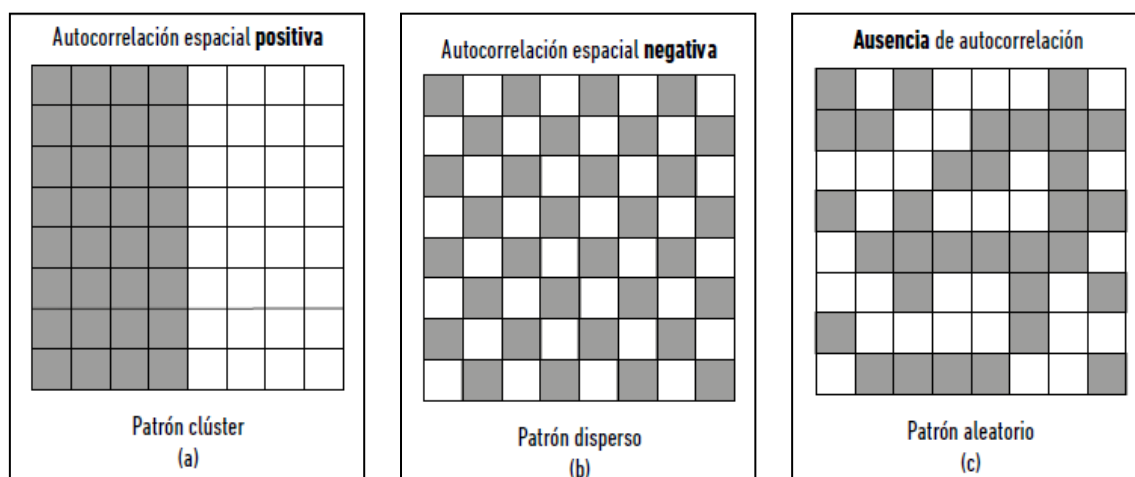


Figura 1. Patrones espaciales y su relación con la Autocorrelación espacial. Fuente: Siabato & Guzmán-Manrique, 2019

Ahora estos análisis espaciales se evalúan de manera global y local, los globales se valoran en un indicador de autocorrelación espacial o similitud de regiones, mientras que el local se centra en la evaluación de similitudes de áreas dentro de una región (Siabato & Guzmán-Manrique, 2019)

Existen varios índices globales y locales para evaluar la autocorrelación espacial, para el presente estudio se usará el Índice Global de Moran I, ya

que es uno de los indicadores más antiguos, conocidos y porque da pie a otros análisis más detallados como el Índice Local de Asociación de Moran (Hidalgo, 2019; Siabato & Guzmán-Manrique, 2019), y está definido por:

$$I = \frac{N}{W} \cdot \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

N = número de unidades de análisis

$W = \sum_i \sum_j w_{ij}$ corresponde al número total de vecindades

La autocorrelación espacial está indicada por medio de valores que oscilan entre +1 y -1, en donde +1 indica autocorrelación positiva perfecta, -1 expresa autocorrelación negativa perfecta y un valor 0 muestra la presencia de patrones completamente aleatorios en su distribución espacial (Chasco, 2003; Hidalgo, 2019).

Esta prueba se basa en una hipótesis nula la cual precisa un patrón aleatorio, y como resultado arroja 5 valores: Índice Global de Moran I , índice esperado, varianza, valor p y valor z , siendo estos dos últimos son los que permitirán rechazar o aceptar la hipótesis (Ramón, 2022), un ejemplo de este índice es como se muestra en la figura siguiente:

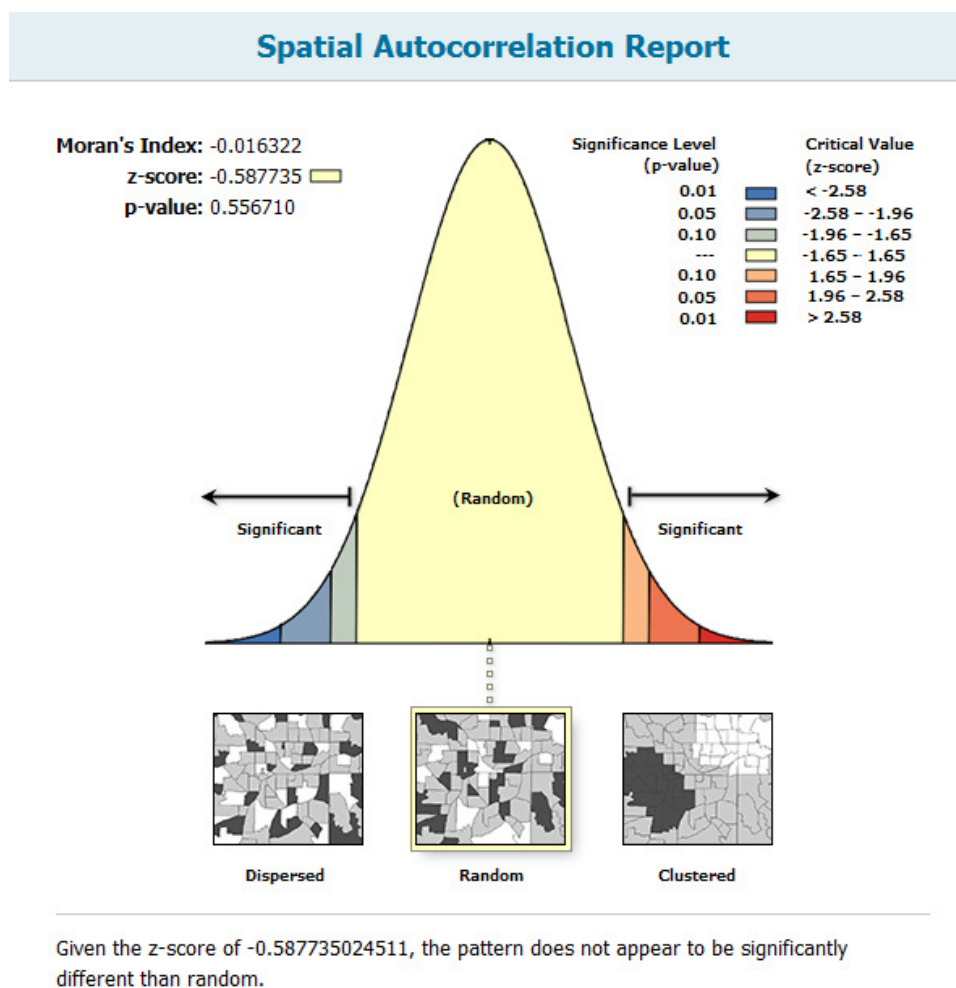


Figura 2. Ejemplo de Índice Global de Moran I. Fuente: Hidalgo, 2019

2.2.1.5. Análisis de Puntos Calientes Optimizado

Este análisis será importante dentro de la definición de la metodología para la ubicación de Puntos de Referencia. El Análisis de Puntos Calientes busca medir el grado agrupamiento espacial mediante el cálculo del estadístico G_i^* , mismo que dado un conjunto de entidades ponderadas, permite identificar puntos calientes y fríos estadísticamente significativos. Este análisis busca contestar preguntas del tipo ¿Cómo se pueden implementar los recursos de manera más efectiva? o asociándolo a nuestro problema ¿Cómo o donde se pueden implementar puntos de

referencia para optimizar los tiempos de respuesta a una emergencia? (Ponce, 2019).

El Análisis de Puntos Calientes Optimizado está basado en la prueba estadística Getis-Ord G_i^* , que es una medida de asociación espacial que evalúa cada entidad dentro del contexto de entidades vecinas (Ord & Getis, 1995).

2.2.1.6. Análisis de Clúster y Valores Atípicos

El análisis de clúster y la detección de valores atípicos son técnicas fundamentales en el campo de la minería de datos y el aprendizaje automático. Estas herramientas permiten a los investigadores y profesionales identificar patrones ocultos en conjuntos de datos complejos y reconocer observaciones que se desvían significativamente de la norma (Jain, 2010).

2.2.1.7. Patrones de Distribución Espacial

Los patrones de dispersión son las diferentes maneras en que los individuos de una población pueden estar distribuidos en el espacio y/o relacionados el uno con el otro (Harms, 2002)

2.2.2. Daño Forestal

El daño forestal se refiere a la perturbación (degradación y/o deforestación) de los de ecosistemas forestales por diferentes causas como naturales o antropogénicos. Entre las principales causas del daño

forestal se encuentran los incendios, enfermedades, contaminación atmosférica, actividades humanas, entre otros (Trumbore et al., 2015).

Las quemas no controladas, representan una de las formas más severas del daño forestal, ya que estos eventos pueden alterar drásticamente la estructura y composición de la floresta, afectando no solo a la vegetación, sino también a los suelos, la fauna y los ciclos biogeoquímicos (Certini, 2005). Los daños causados por los incendios forestales pueden variar desde quemaduras superficiales hasta la pérdida del dosel arbóreo y la capa orgánica del suelo.

El análisis de áreas quemadas mediante imágenes satelitales, ha demostrado ser una herramienta valiosa para evaluar y cuantificar el daño forestal causado por los incendios. Estas tecnologías de observación permiten el monitoreo constante de la cobertura forestal en grandes extensiones (Lutes et al., 2006).

Los índices espectrales derivados de las imágenes satelitales, como el Normalized Burn Ratio (NBR) y (dNBR) por ejemplo, son utilizados para cuantificar la severidad del daño forestal (Miller & Thode, 2007). La diferencia espectral entre el pre-incendio y post-incendio da como resultado una estimación de la severidad del daño.

Es necesario mencionar que el daño forestal ocasionado por los incendios forestales tiene impactos ecológicos inmediatos, sino que también, influye negativamente en la biodiversidad, ciclos del carbono y los servicios ecosistémicos, la recuperación de la floresta puede llevar década

o siglos dependiendo de la severidad del daño y las condiciones que se le da al ecosistema para su recuperación (Johnstone et al., 2016).

2.2.2.1. Fuego

El fuego es la reacción rápida producto de la unión del aire, el combustible y una fuente de calor; que se manifiesta en forma de llamas y humo (CENEPRED, 2020; SERNANP, 2017).

El fuego es el resultado de una reacción de combustión que se caracteriza por la emisión de calor, acompañada de luz y/o con desprendimiento de humo (Prada, 2006).

2.2.2.2. Incendios forestales

Los incendios forestales son una de las principales perturbaciones naturales que afectan a los bosques de todo el mundo. Se entiende por incendio forestal la propagación no controlada del fuego sobre la vegetación que encuentra a su paso (árboles, arbustos, pastos y/o cultivos) (Plana et al., 2016).

Según el CENEPRED, un incendio forestal es descrito como el fuego no deseado de cualquier origen, que no es estructural, que se propaga sin control en los recursos forestales causando daños ecológicos, económicos y sociales (CENEPRED, 2020).

(Manta & León, 2004), manifiesta que el 99% de los incendios en el Perú “son de origen humano”. SERFOR (2018), determina que la mayoría de las ocurrencias son de origen antrópico. MINAM (2017), aproxima a un 90% de las causas se debe al accionar humano. De todo ello, no existe una

base de datos o un registro que estime con exactitud la principal causa, pero lo que se puede observar, es que el principal autor de estas ocurrencias proviene por el mal uso del fuego por actividades antrópicas.

Según Villers (2006), hay tres tipos de daños en los eventos, los superficiales, donde el fuego consume los combustibles que se encuentran sobre el suelo; los subterráneos, en el cual se queman el mantillo, raíces, materia orgánica acumulada y por último los incendios de copa o corona, en el cual, se consume completamente a los árboles y se propaga tanto de copa en copa como superficialmente.

SERFOR (2018), manifiesta que los incendios forestales tienen consecuencias en 04 aspectos fundamentales como el Suelo y el Agua (pérdida de cobertura forestal desecan las fuentes de agua, muerte de humus, pérdida de equilibrio de infiltración), sobre la Fauna y Flora (cambio en la estructura del bosque, debilitamiento de los árboles, invasión de especies plaga, degradación de los pastos), efectos sobre la Atmosfera y la Salud (genera humo y dióxido de carbono, que generan enfermedades, aumento del efecto invernadero y disminución del oxígeno) y Socioeconómicos (deterioro del paisaje, afectan a otros bienes distintos a los bosques, generan contiendas entre las autoridades y el pueblo por la mala gestión o combate contra los incendios).

2.2.2.3. Quemas controladas

Fuego controlado (quema controlada): es una técnica de manejo que se realiza en un área específica, dentro de la cual el fuego queda confinado. Es realizado por personal capacitado y sobre cualquier tipo de

combustible, bajo condiciones meteorológicas seleccionadas y con normas de seguridad adecuadas. Se aplica para cumplir objetivos definidos de manejo, tanto productivos como conservacionistas (Castillo et al., 2013).

Capítulo III

METODOLOGÍA.

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.1.1. Tipo de investigación

- **Aplicada**, porque busca resultados a partir del conocimiento logrado y cambiar en conocimiento útil sobre incendios forestales.
- **Enfoque cuantitativo**, porque medirá y estimará dimensiones de las variables a investigar, además los datos se validarán con datos estadísticos.

3.1.2. Diseño de la Investigación

Es un **diseño no experimental** debido a que no se manipularán las variables, las cuales serán analizadas en su contexto natural. De carácter explicativo, ya que su análisis permitirá entender mejor la problemática de los impactos ambientales forestales empleando técnicas avanzadas como el sensoramiento remoto.

3.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN.

3.2.1. Primera Variable.

Dinámica de las quemas.

3.2.2. Segunda Variable.

Afectación de los Ecosistemas.

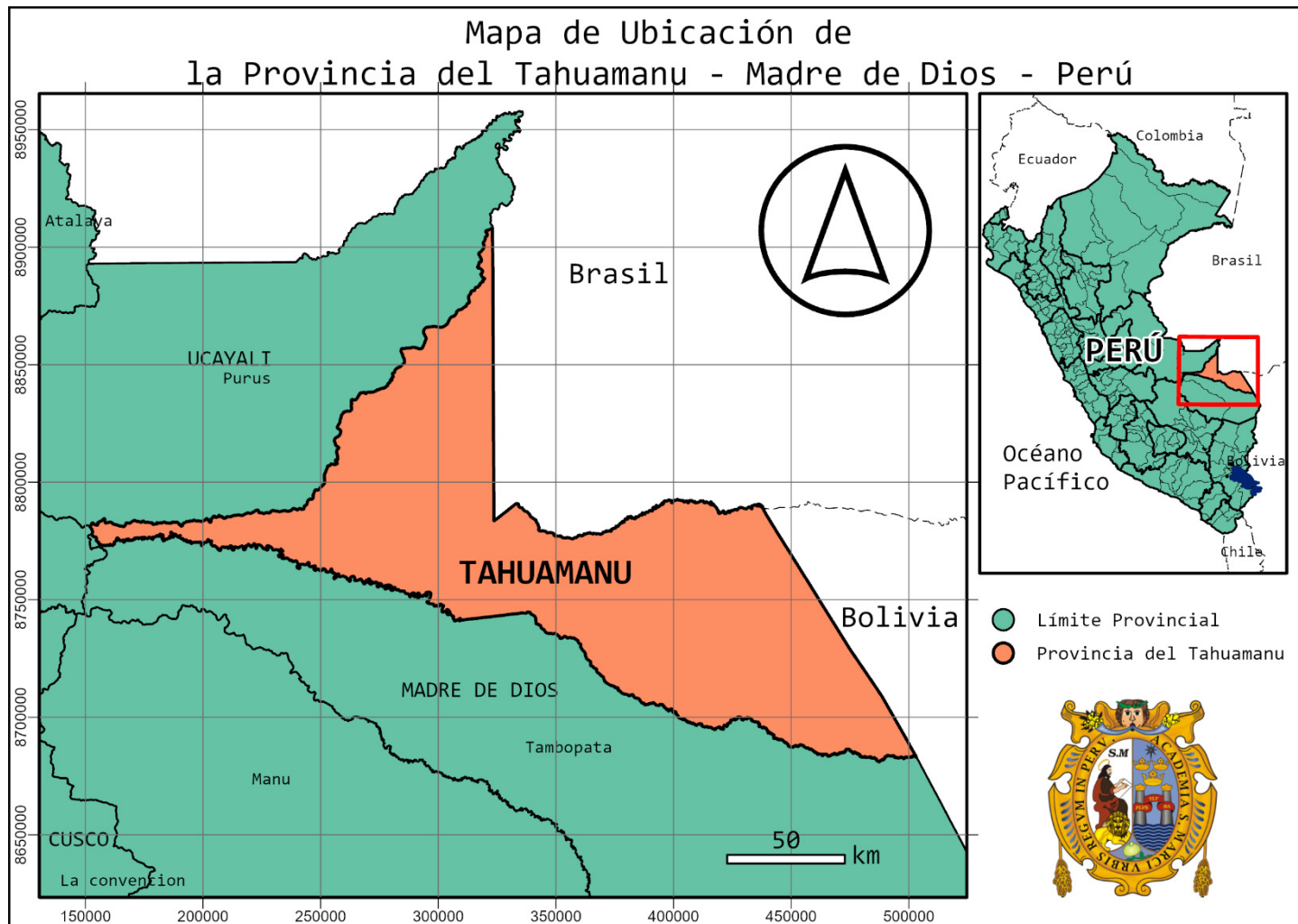


Figura 3. Mapa de Ubicación. Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Fuente de Datos
Dinámica de las quemas	La dinámica del fuego es el estudio de cómo los incendios comienzan, crecen y evolucionan con el tiempo (Telgian, s/f).	Análisis de las variables que permiten medir el comportamiento del fuego (combustible, clima, topografía) (BOLFOR et al., 1999)	Área quemada	NBR	Imágenes Multiespectrales Landsat
			Vegetación	NDVI	
				EVI	
				SAVI	
Afectación de los Ecosistemas	Se refiere a los cambios en términos de su estructura, función y composición del mismo, por consecuencia de las perturbaciones naturales o antrópicas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).	Conjunto de indicadores que pueden medir el grado de alteración de un ecosistema (Pérdida de hábitat, degradación del hábitat, contaminación, cambio de uso del suelo) (Khan Academy, s/f)	Ecosistema impactado	Superficie afectada	Mapa de Ecosistema Nacional

Fuente: Elaboración propia

3.3. UNIDAD DE ANÁLISIS.

El área o territorio de la provincia del Tahuamanu.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.

3.4.1. Población.

Según el Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o accesos a servicios públicos del Gobierno Regional de Madre de Dios, periodo 2022-2024 (GOREMAD, 2021), la provincia del Tahuamanu cuenta con una superficie de 21,196.88 km², que representa el 24.88% del departamento de Madre de Dios, sin embargo, no se tomará en cuenta las superficies de las ANP y Reservas Territoriales por ser zonas de conservación.

3.4.2. Muestra.

Para determinar el número de muestras se usará la distribución binomial de probabilidad (Chuvieco, 2010), que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 p(qN)}{(N-1)E^2 + Z^2 + pq}$$

Dónde:

Z: Es el valor de la curva normal estandarizada para un nivel determinado de probabilidad, 1,96 (95%).

p: indica el porcentaje de aciertos estimado, 0,50 (50%).

q: Indica el porcentaje de errores ($q = 1 - p$), 0,50 (50%).

N: Tamaño de la población.

E: El error permitido, 0,05 (5%).

3.4.3. Selección de la muestra / Muestreo.

La selección de la muestra para que sea representativa acorde al tipo de la investigación será de modo probabilístico de tipo aleatorio estratificado.

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.5.1. Técnicas de investigación.

Se empleará la técnica de observación para poder entender las variables, ya que esto permitirá complementar el análisis, interpretación y discusión de los resultados.

También se empleará el procesamiento de imágenes satelitales históricos (1990-2022) y focos de calor obtenidos por el sensor MODIS.

La información analizada estará dentro de los límites de la provincia de la provincia del Tahuamanu que se obtuvo del Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres frente a Incendios Forestales – Región Madre de Dios al 2025.

3.5.2. Recolección de datos

Para llevar a cabo el análisis de cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu se fundamentó en estudios previos e insumos

como imágenes satelitales históricas de la constelación Landsat, así como también límites político administrativos del INEI¹.

3.5.2.1. Adquisición de límites políticos administrativos

En este punto, los límites políticos administrativos se usó la cobertura vectorial del INEI que está en su portal web (<https://ide.inei.gob.pe/#geo>), ya que su uso es de carácter nacional y destinado para diversos propósitos para la investigación geoespacial.

3.5.2.2. Adquisición de Imágenes Satelitales

Las imágenes de satélite se obtuvieron de la colección de imágenes Landsat que están disponibles en la plataforma del Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>), ya que en la mencionada web se puede tener las imágenes ya corregidas en reflectancia de superficie. Dichas colecciones están distribuidas con los siguientes nombres:

- Landsat 5 TM: LANDSAT/LT05/C02/T1_L2
- Landsat 7 ETM+: LANDSAT/LE07/C02/T1_L2
- Landsat 8 OLI: LANDSAT/LC08/C02/T1_L2
- Landsat 9 OLI-2: LANDSAT/LC09/C02/T1_L2

Cabe mencionar que estas imágenes satelitales son de libre disponibilidad.

3.5.2.3. Criterios de Selección de Imágenes

¹ Instituto Nacional de Estadística e Informática

Como la investigación es calcular las superficies de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu (“anuales”), no se distinguió por alguna estacionalidad en especial, sino que se usaron todas las que están listadas en sus respectivos catálogos y con un límite máximo del 10% de cobertura nubosa.

3.5.2.4. Criterios para el Procesamiento de las imágenes Landsat

Para analizar las cicatrices de áreas quemadas a lo largo del tiempo, pero de manera anual en los 33 años que corresponde el periodo de estudio, se generará un script en JavaScript en la cual involucre todas las imágenes Landsat, así como también sus respectivos índices espectrales como el NDVI, EVI, NBR, GNDVI, NDWI y la banda Termal, que son sensibles a la biomasa aérea.

Finalmente se usará el algoritmo de clasificación como Random Forest, entrenándolo con muestras que impliquen áreas quemadas y áreas no quemadas (solo se tendrá estas dos clases), de esta manera asignándolo estas dos categorías a cada pixel.

De esta manera se tendrá un mapa anual de áreas quemadas y áreas no quemadas para un año completo para los 33 años del periodo de estudio.

Esta técnica de clasificación supervisada usando imágenes satelitales combinándolo con índices espectrales, es una herramienta poderosa para caracterizar detalladamente las áreas quemadas y áreas no quemadas.

3.5.2.5. Criterios para el Post-Procesamiento

Para el Post-Procesamiento, se descargará todas las clasificaciones y serán editadas en el programa QGIS, ya que, como es muy normal en todo proceso de teledetección, que se tengan algunos píxeles clasificados en zonas de áreas quemadas donde no los hay (falsos positivos), como por ejemplo en los bancos de arena que están a orilla de los ríos, zonas urbanas o rurales.

3.5.2.6. Validación de los datos

Será la comparación e interpretación de los resultados de la clasificación supervisada con información secundaria como, por ejemplo, como imágenes Planet de 4.7 de resolución espacial, también será el uso de los datos de áreas quemadas mundiales del producto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MCD43B4), así como también, el uso de las propias imágenes Landsat para el cotejo para aquellos resultados que están en la década de los 90, ya que no se tiene otra fuente de información.

Se creará una matriz de confusión e índice de kappa para conocer la exactitud y precisión de la clasificación de las cicatrices de áreas quemadas y áreas no quemadas.

La matriz de confusión es una tabla que nos arroja la exactitud global del mapa y la precisión de usuario y del productor expresado en porcentaje (Ariza-López et al., 2018).

El índice de kappa arroja la concordancia entre el resultado en comparación con la información base y varía entre 0 y 1, 0.8 y 1 indica una clasificación casi perfecta, entre 0.6 y 0.8 buena, entre 0.4 y 0.6 moderada, entre 0.2 y 0.4 pobre, y menor a 0.2 muy pobre (Cohen, 1960).

3.5.2.7. Criterios para elaborar el Mapa de Frecuencias

Para observar el número de repeticiones de los eventos (quemadas) en la superficie del área de estudio, se unirá todas las capas resultantes de la Post-Clasificación.

Sin embargo, estos eventos (quemadas) se distribuyen de manera irregular en el área de estudio, por lo que es necesario realizar un análisis de densidad espacial, con la finalidad en que sectores administrativos se tiene mayor o menor frecuencias.

3.5.2.8. Criterios para determinar el mapa de densidad y el patrón de distribución espacial

El mapa de densidad se realizará mediante la herramienta Kernel Density que tiene cualquier programa GIS (por ejemplo, ArcGIS Pro, QGIS) así como también lenguajes de programación como Python y R. El resultado se ajustará al tamaño de pixel de las imágenes base, es decir, a las imágenes Landsat y el extent se ajustará al área de estudio.

Por otro lado, se realizará el Análisis de Patrones de Distribución Espacial del Mapa Frecuencias, con el objetivo de estudiar cómo se

distribuyen estos eventos, es decir, si se distribuyen de manera aleatoria o agregados.

Para ello, se utilizará la Autocorrelación Espacial del Índice Global de Moran I que es el punto de partida para conocer si la distribución de los eventos es aleatoria o si presentan patrones significativos de agrupamiento (ESRI, s/f); los valores van de -1 (valores cercanos a -1 indica dispersión) a 1 (valores cercanos a 1 indica fuerte correlación positiva y sostiene que los polígonos están agrupados) y un valor 0 indica presenta patrones completamente aleatorios (Lucero & Celemín, 2008).

Una vez evidenciados que los eventos no se registran de modo aleatorio y por el contrario presenta un patrón de agrupamiento, el siguiente paso es evidenciar donde se concentran los puntos calientes (valores altos) y fríos (valores bajos), para este cometido se usará el Análisis de Puntos Calientes Optimizado, esta herramienta es muy útil para encontrar valores significativos de los valores altos y bajos (Ord & Getis, 1995).

Finalmente, como parte de la metodología, se propone establecer o ubicar los valores atípicos usando la estadística de Análisis de Valores Atípicos Optimizado, ya que este test, ayudaría a detectar frecuencias de los eventos inusualmente altos en comparación con sus vecinos, lo que puede implicar patrones inusuales (Anselin, 1995).

3.5.2.9. Criterios para determinar la afectación de los ecosistemas

Primeramente, se descargará el archivo vectorial y la memoria descriptiva del Mapa de Ecosistema Nacional que se encuentra en su sitio web <https://geoservidor.minam.gob.pe/recursos/intercambio-de-datos/>.

Con el mapa quemas (frecuencias) se realizará una superposición con el mapa de ecosistema nacional y dará como resultado la afectación a las unidades que han sido impactadas por los eventos de las igniciones.

3.5.2.10. Criterios para determinar la afectación al uso del suelo

Se descargará los datos raster desde su sitio web: Geobosques (<https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php>), que son datos abiertos para el público. Se tiene que mencionar que la información espacial que están colgadas, no están desarrollados para todo el periodo de la presente pesquisa, sino que solamente se tiene para los años 2000, 2005, 2011, 2013, 2016, 2018 y 2020, por ende, solo se realizará el análisis para los años mencionados. Las categorías de uso de suelo clasificadas son las siguientes:

Tabla 2. Codificación para las clases y subclases para el mapa de uso de suelo. Fuente: (*Ministerio del Ambiente (MINAM), s/f*)

COD IPCC	Descripción IPCC	COD Sub Clase	Descripción Sub Clase
01	Tierras Forestales	01	Bosques
01	Tierras Forestales	02	Coberturas inundables en bosque
03	Praderas	03	Vegetación Secundaria
02	Tierras Agrícolas	04	Agricultura
03	Praderas	05	Pastizales/Herbazales
03	Praderas	06	Sabanas Hidromórficas

COD IPCC	Descripción IPCC	COD Sub Clase	Descripción Sub Clase
04	Humedales	07	Cuerpos de Agua
04	Humedales	08	Coberturas inundables en No bosque
05	Asentamientos	09	Áreas Artificiales
05	Asentamientos	10	Áreas Mineras
06	Otras Tierras	11	Suelo desnudo

Para la determinación de la afectación de uso de suelo se realizará a nivel de subclase, ya que presenta información más detallada.

Se tiene que mencionar que este producto de uso de suelo desarrollado por el MINAM, fue elaborado a escala 1/100000 usando imágenes Landsat, que son los mismos criterios e insumos usados para el desarrollo de la presente pesquisa.

3.6. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Cuando se haya terminado de definir las variables y haber generado la matriz de datos tabulares producto de la información procesada, el siguiente paso es comparar los resultados de las quemas con la información de las unidades de Ecosistema Nacional, Uso de Suelo y los resultados de los patrones de distribución espacial producto de la geoestadística, para observar si hay cambios, similitudes o diferencias significativas usando el Software QGIS y ArcGIS Pro.

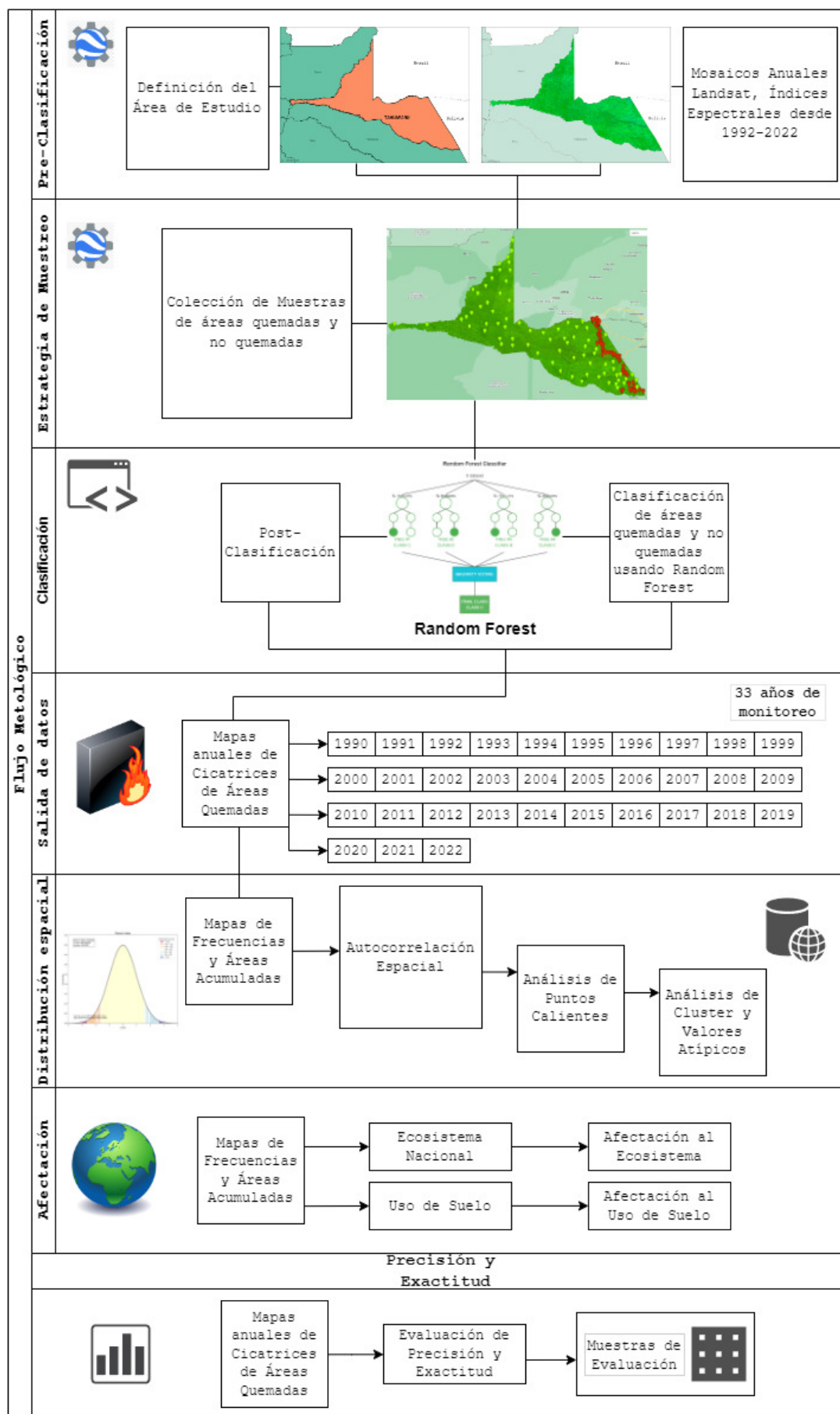


Figura 4. Flujograma del Estudio. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

4.1.1. Superficies de cicatrices de áreas quemadas

En el cuadro siguiente se muestra las cicatrices de áreas quemadas producidas en el área de estudio para el periodo de tiempo 1990-2022.

Tabla 3. Cicatrices de áreas quemadas en el área de estudio para el Periodo de tiempo 1990-2022. Fuente: Elaboración propia.

Período	Área (ha)	Período	Área (ha)
1990	5,020.13	2008	12,292.96
1991	5,878.76	2009	8,990.46
1992	2,464.75	2010	15,767.82
1993	5,293.65	2011	12,046.28
1994	7,719.47	2012	10,972.43
1995	5,425.20	2013	10,669.39
1996	5,171.78	2014	13,960.62
1997	8,724.15	2015	16,922.90
1998	6,092.90	2016	20,487.28
1999	7,295.18	2017	17,423.06
2000	6,005.75	2018	21,532.99
2001	9,048.13	2019	25,440.82
2002	8,171.87	2020	21,087.29
2003	9,504.77	2021	21,685.91
2004	8,571.56	2022	25,957.60
2005	9,136.64	TOTAL	382,488.63
2006	7,138.13		
2007	10,588.00		

En ella se puede apreciar los mínimos y máximos de estos eventos, siendo la menor el periodo del 1992 con 2464.75 ha y máximo el periodo del 2022 con 25957.60 ha.

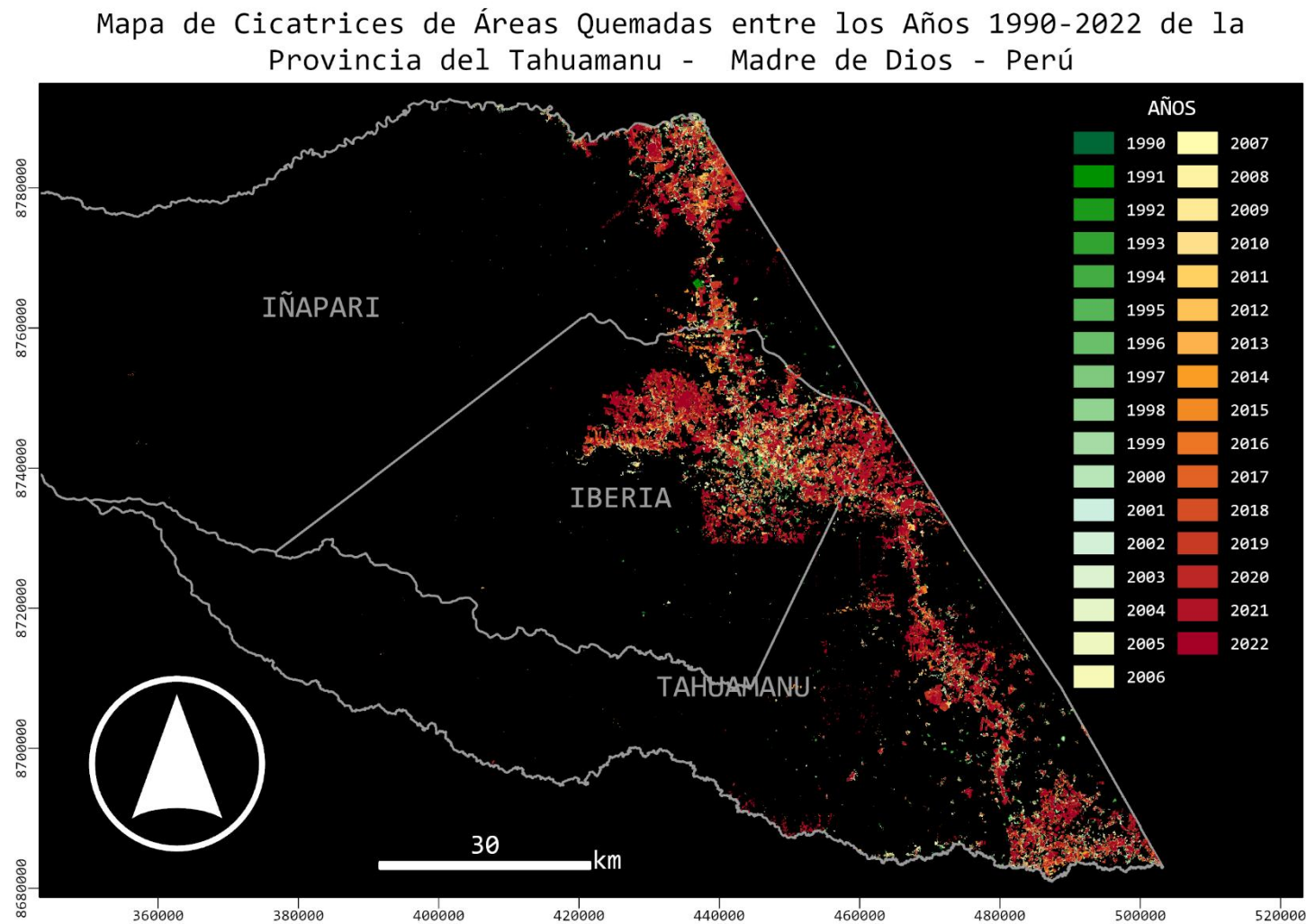


Figura 5. Mapa de superficies de áreas quemadas anuales 1990-2022. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Determinación de patrones de distribución espacial

Para determinar el patrón de distribución espacial de las quemas en la provincia del Tahuamanu se usó la autocorrelación espacial en base al número de repeticiones por evento, es decir se elaboró un mapa de frecuencias.

4.1.2.1. Mapa de frecuencias

Para la elaboración del mapa de frecuencias de cicatrices de áreas quemadas, se realizó una unión de todas las capas generadas en el subcapítulo anterior, el objetivo de este mapa es observar en que zona del área de estudio se repite constantemente estos eventos.

Los resultados son desalentadores, ya que hay muchas superficies que se vienen quemando casi todos los años, nótese en la **Figura 6. Mapa de Frecuencias de quemas en la provincia del Tahuamanu.** Fuente: Elaboración propia., que en los tres distritos que conforman la provincia del Tahuamanu, hay zonas aisladas que la quema anual se viene dando con total normalidad, siendo lo más sorprenden que en el distrito del Tahuamanu, hay una superficie que se quemaron 32 veces en 33 años.

Por eso la importancia de un mapa de frecuencias de áreas quemadas, para identificar y priorizar esfuerzos en prevención y protección de las zonas de alto riesgo, así como también desvela patrones y tendencias de la frontera agrícola y ganadera. De la misma manera, con este mapa

permite identificar áreas críticas en la cual la conectividad ecológica está bajo presión.

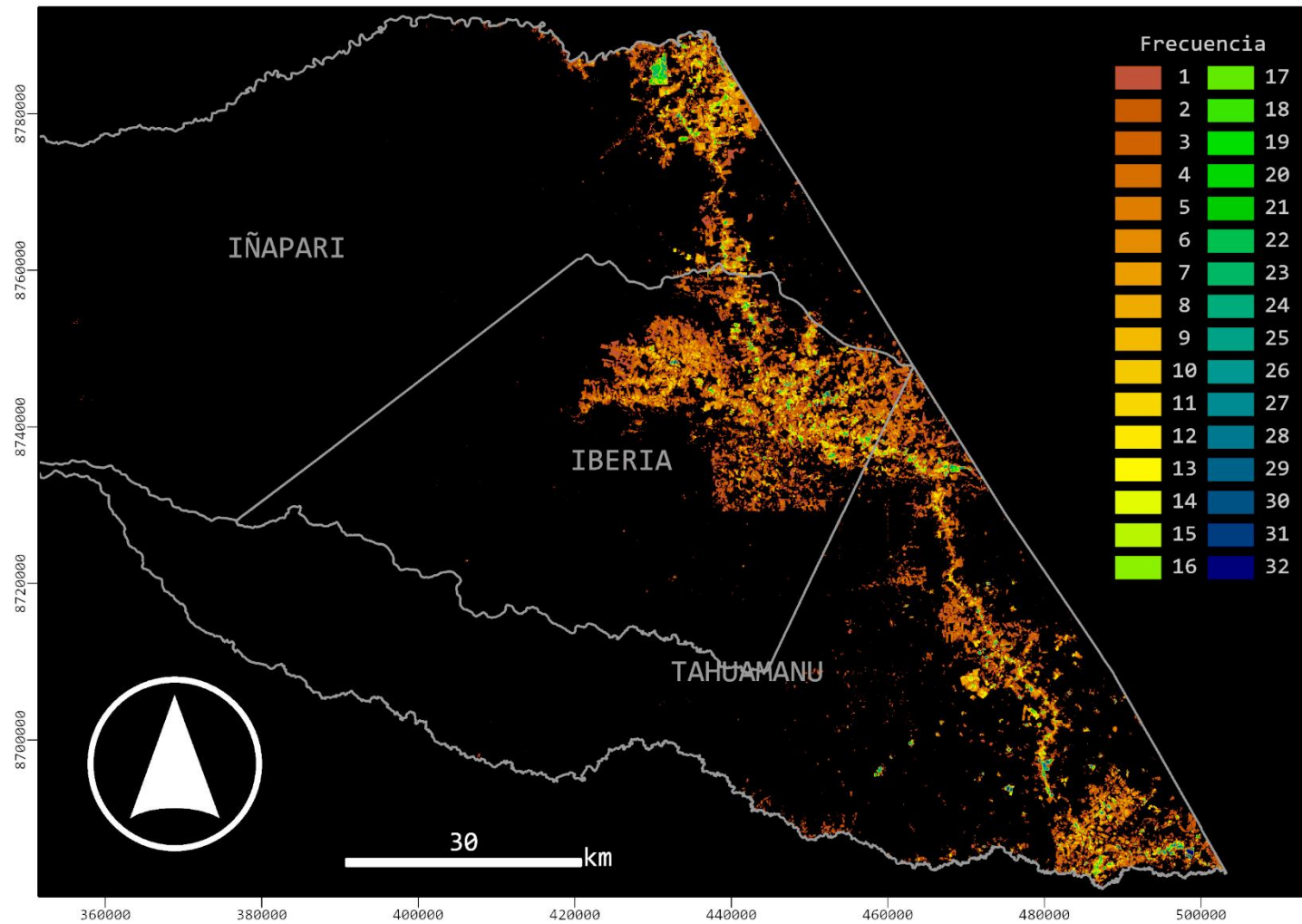


Figura 6. Mapa de Frecuencias de quemas en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

El mapa de frecuencias visualiza el lugar o los lugares donde tuvieron mayores repeticiones de las quemas en el periodo de tiempo evaluado.

4.1.2.2. Autocorrelación espacial (Índice Global de Moran I)

El análisis de autocorrelación espacial usando el Índice Global de Moran I se realizó en ArcGIS PRO, teniendo como resultado un valor de 0.388027, lo que da a entender que presenta una autocorrelación espacial positiva, presentando un patrón no aleatorio.

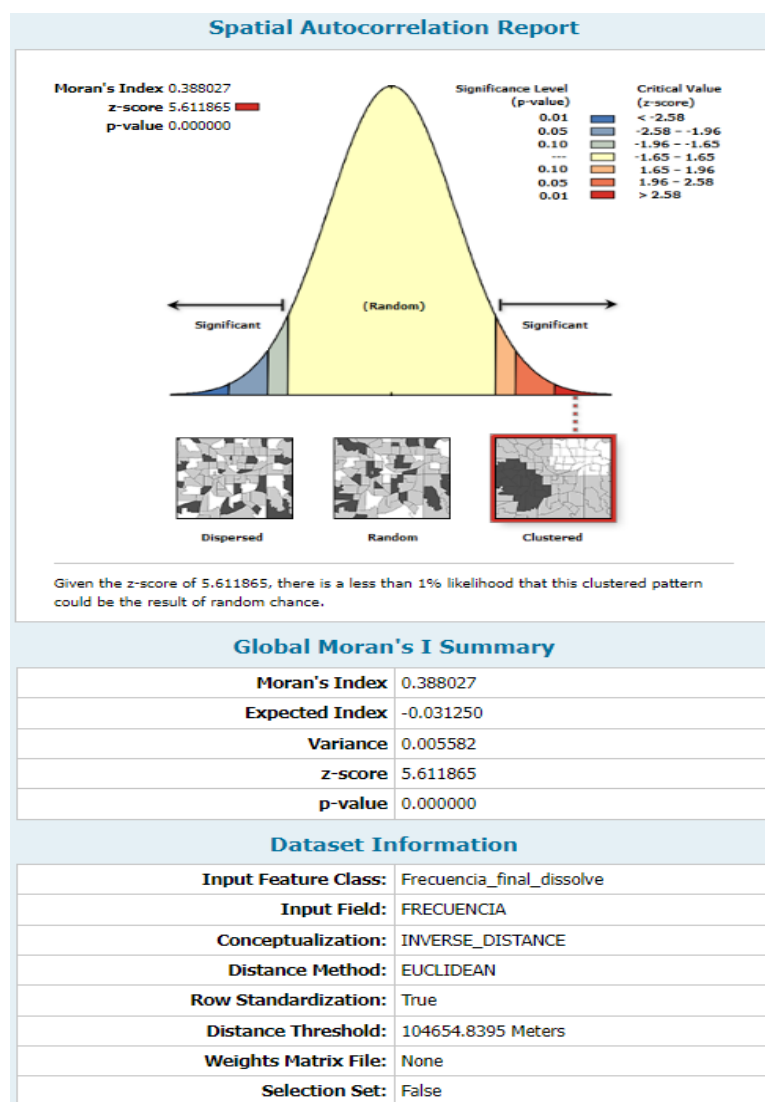


Figura 7. Reporte de autocorrelación positiva del índice Global de Moram I

4.1.2.3. Mapa de puntos calientes – *Optimized Hot Spot Analysis*

Para la determinación de los puntos calientes en la provincia del Tahuamanu, se utilizó el mapa de frecuencias, donde los puntos rojos representan la intensidad que han sido significativamente alta, por el contrario, los puntos azules representan que las quemadas fueron significativamente bajas.

Este mapa representa una focalización de patrones espaciales de alta ocurrencia, que permite centralizar esfuerzos para la prevención y control de las quemadas. Además, es necesario para la gestión del territorio, basada en evidencias reales, producto de análisis del comportamiento de las quemadas de 33 años, permitiendo la comprensión de la dinámica espacial de estos eventos.

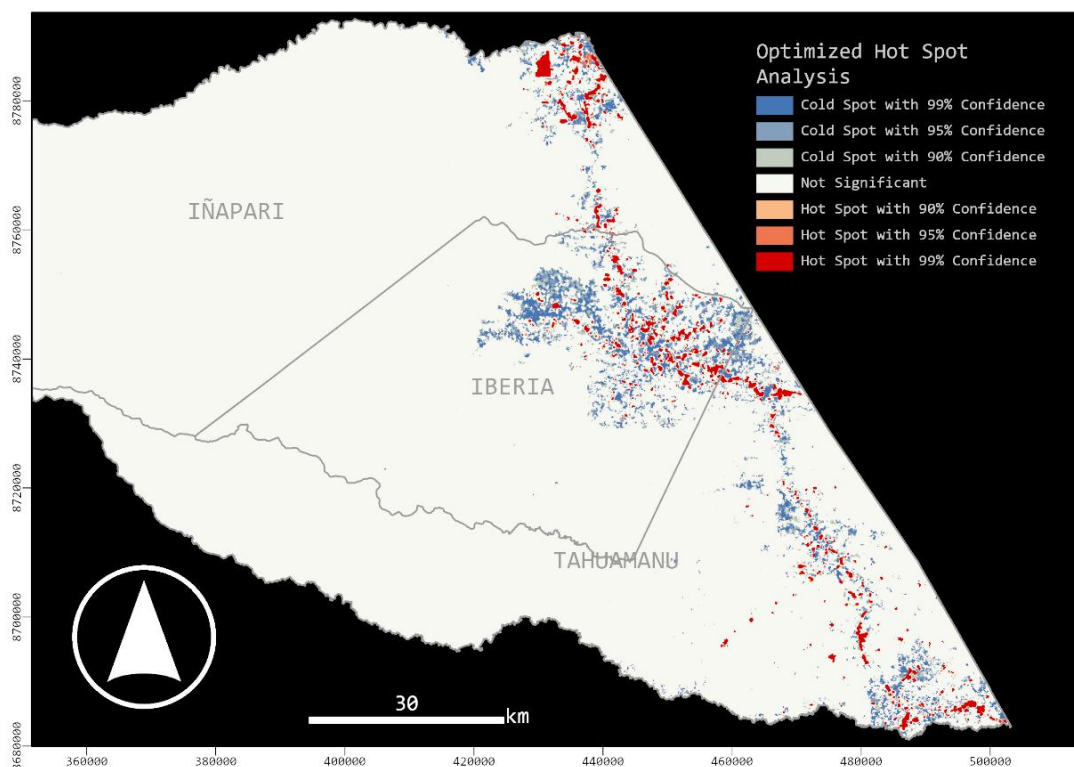


Figura 8. Mapa de puntos calientes de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.4. Mapa de clúster y valores atípicos – *Optimized Outlier Analysis*

Para la determinación del mapa de clúster y valores atípicos en la provincia del Tahuamanu, se utilizó el mapa de frecuencias, donde los puntos rosados son zonas con altos valores rodeadas de otras áreas con alta frecuencia, mientras que el color blanco son áreas sin patrones espaciales estadísticamente significativos, además, no muestra claras tendencias de agrupamiento.

Este análisis ayuda a identificar patrones relevantes con la distribución de los lugares quemados, como la presencia de grupos (clúster) de alto o bajo valor, y a identificar valores (outliers) que pueden indicar áreas con características especiales o de procesos instintos al del entorno.

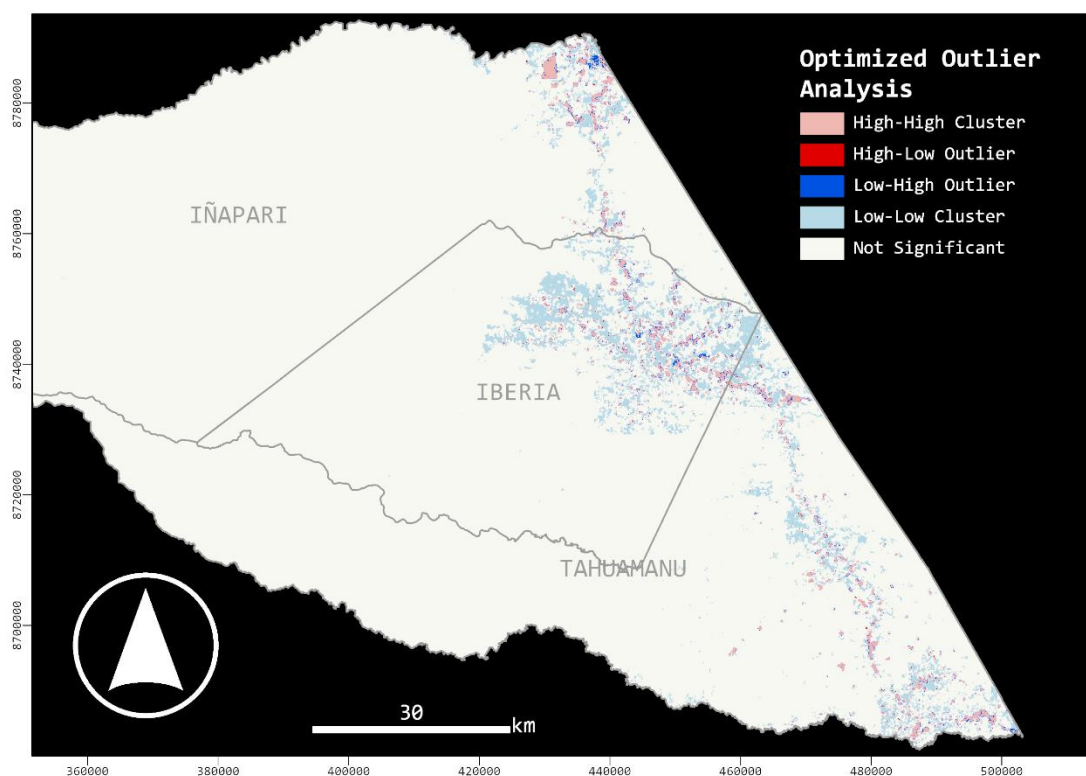


Figura 9. Mapa de clúster y valor atípicos en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Afectación de las quemadas en los ecosistemas de la provincia del Tahuamanu

Primeramente, se tiene que conocer cuáles son los ecosistemas presentes en la provincia del Tahuamanu, para ellos se realizó el corte del mapa de ecosistema nacional del MINAM con el límite del área de estudio, teniendo lo siguiente:

Tabla 4. Presencia de Ecosistemas en la provincia del Tahuamanu. Fuente: (MINAM, 2019)

Descripción	Área (ha)
Bosque aluvial inundable	103814.80
Bosque de terraza no inundable	19775.16
Pacales	4065.88
Isla	79.12
Pantano de palmeras	638.70
Bosque de colina baja	1801535.12

A estos ecosistemas identificados, se realizó una superposición con el resultado del mapa de quemadas, con la finalidad de determinar su afectación, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 5. Afectaciones de los ecosistemas en la provincia del Tahuamanu producto de las quemadas. Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Bosque aluvial inundable	2199.09
Bosque de colina baja	33841.60
Bosque de terraza no inundable	823.49
Isla	3.93
Pantano de palmeras	4.59

Se tiene que acotar, que de las **Tabla 4** y **Tabla 5** se eliminaron las clases de Zona urbana, Río, Lago y Laguna, Zona agrícola y Vegetación Secundaria, por ser zonas que no corresponde a la categoría de bosques o por ser zona de depósitos de agua o agua en movimiento.

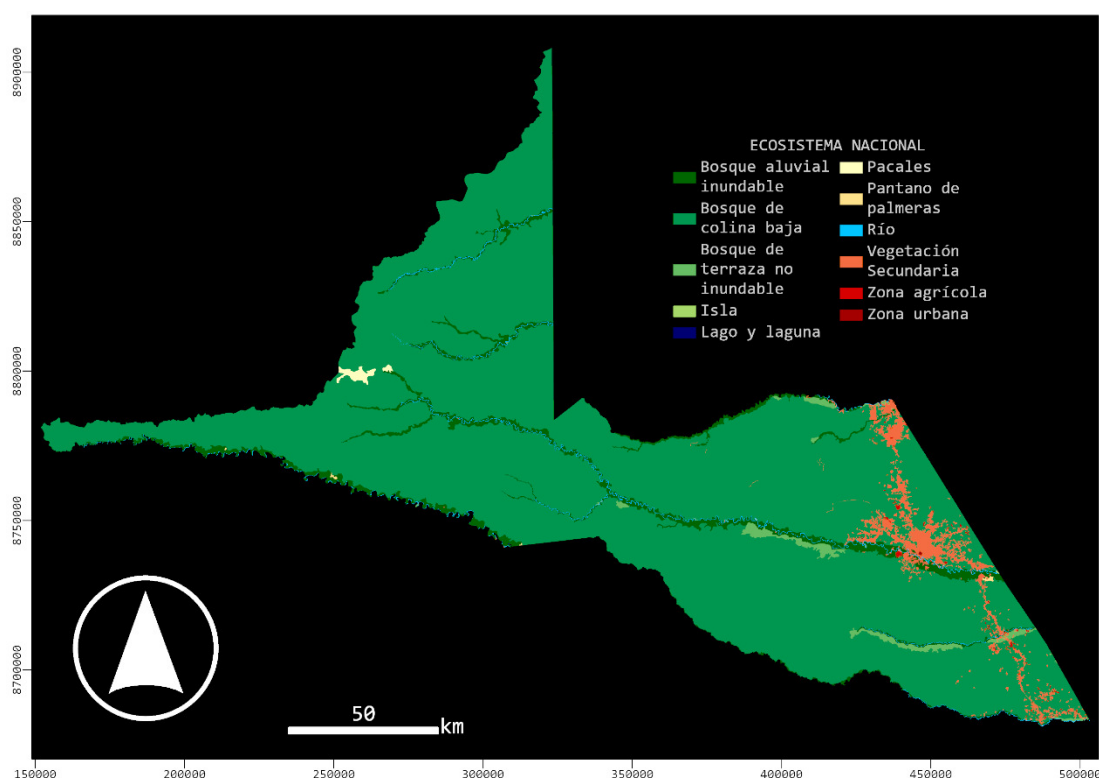


Figura 10. Mapa de Ecosistema Nacional de la provincia del Tahuamanu. Fuente: (MINAM, 2019)

4.1.4. Afectación de las quemas y el uso de suelo en la provincia del Tahuamanu

Un mapa de uso de suelo es una herramienta que muestra cómo se distribuye el terreno en un área específica. Este mapa fue elaborado por el MINAM en varios años.

El resultado de los mapas de usos de suelos se superpuso con las quemas anuales con sus años correspondientes, teniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 6. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2000.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Agricultura	381.06
Áreas Artificiales	23.22
Bosque	232.00
Cuerpos de Agua	13.23
Pastizales/Herbazales	2997.24
Vegetación Secundaria	2358.93

Tabla 7. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2005.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Agricultura	59.31
Áreas Artificiales	40.41
Bosque	974.52
Cuerpos de Agua	8.63
Pastizales/Herbazales	7257.88
Suelo Desnudo	2.61
Vegetación Secundaria	792.96

Tabla 8. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2011.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Agricultura	466.87
Áreas Artificiales	99.36
Bosque	531.08
Cuerpos de Agua	19.39
Pastizales/Herbazales	8798.98
Vegetación Secundaria	2128.51

Tabla 9. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2013.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
-------------	-----------

Agricultura	1054.30
Áreas Artificiales	71.46
Bosque	500.67
Cuerpos de Agua	12.28
Pastizales/Herbazales	7158.45
Vegetación Secundaria	1870.78

Tabla 10. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2016.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Agricultura	4216.74
Áreas Artificiales	95.13
Bosque	1150.33
Cuerpos de Agua	32.58
NODATA	0.81
Pastizales/Herbazales	12979.77
Vegetación Secundaria	2010.91

Tabla 11. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2018.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Agricultura	1537.65
Áreas Artificiales	190.35
Áreas Mineras	82.53
Bosque	592.34
Cuerpos de Agua	35.03
Pastizales/Herbazales	14515.32
Suelo Desnudo	2405.15
Vegetación Secundaria	2172.29

Tabla 12. Afectación de las quemas en el uso de suelo en el año 2020.

Fuente: Elaboración propia

Descripción	Área (ha)
Agricultura	1141.11
Áreas Artificiales	211.77
Áreas Mineras	67.86
Bosque	989.32
Cuerpos de Agua	34.77
Pastizales/Herbazales	12167.23
Suelo Desnudo	2888.69
Vegetación Secundaria	3583.49

4.2. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

4.2.1. De los resultados de las áreas cicatrices quemadas

Para la generación del mapa de cicatrices de áreas quemadas, se usó la información generada en el capítulo 4.1.1. La superficie acumulada de cicatrices de áreas quemadas para el periodo de estudio es de 382488.63 ha (**Figura 11;Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), y el área reportada va en aumento año a año, lo que se puede dilucidar que no hay una buena gestión en el uso de los recursos forestales.

Para el proceso de análisis de cicatrices de áreas quemadas se utilizaron un total de 1 575 imágenes Landsat (L5, L7, L8 y L9) que están comprendidas entre las escenas con el Path/Row 002/68 (con 805 imágenes) y el Path/ Row 003/068 (con 770 imágenes), aunque muchas de ellas estuvieron limitadas por problemas de escaneo de la cubierta terrestre y nubosidad, lo que redujeron el aprovechamiento de toda la colección para el periodo y área de estudio.

Según la **Figura 12** y **Figura 13**, la distribución temporal de las imágenes disponibles muestra una clara evolución en la disponibilidad y calidad de los datos, ya que en los meses de julio a setiembre se observa una mayor concentración particularmente libre de nubes (puntos de color rojo) sobre todo a partir del año 2000, a su vez, estos meses corresponde a la temporada seca en el área de estudio.

También se tiene que tomar en cuenta, que hay transiciones de misiones Landsat a lo largo del tiempo, según la **Figura 12** y **Figura 13**, Landsat 5 domina las primeras dos décadas de estudio, seguido por un periodo de traslape con Landsat 7. A partir del 2013, se observa la incorporación de Landsat 8 y en los últimos años Landsat 9, lo que ha permitido analizar todos los años en el periodo de estudio.

Aunque también podemos observar que existen vacíos en la toma de imágenes en el periodo de estudio, por ejemplo, en la **Figura 12** (Path/Row 002/068), en el año 1995 no se tuvieron datos en los dos primeros meses del año, sin embargo, en los 1999 y 2011 no se registran datos en los primeros tres meses del año, lo que presenta vacíos de información. Así mismo, estos primeros meses del año representan la alta acumulación de nubes, ya que es la temporada lluvias en el espacio tiempo determinado.

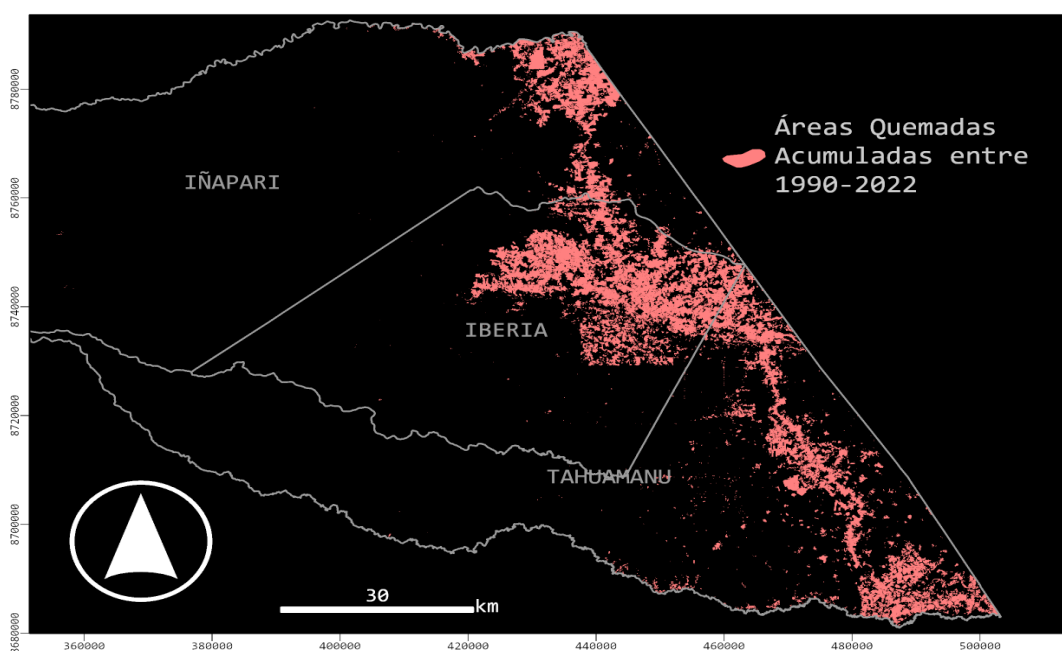


Figura 11. Mapa de cicatrices de áreas quemadas acumuladas entre los años 1990-2022 en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, en la **Figura 13**, podemos observar que en el año 1997 no se tiene registros de datos por 5 meses para el Path/Row 003/068 por Landsat 5, aunque esto es razonable ya que el mencionado satélite fue lanzado en 1984 y solo tuvo un tiempo de vida esperado de 3 años (Irons et al., 2012), sin embargo, duró más de 20 años en el espacio, lo que pudo no haber escaneado por la cubierta de la tierra por problemas técnicos.

De la **Figura 12** y **Figura 13**, podemos determinar que la constelación Landsat tiene información para analizar entre los meses julio a setiembre, y no habiendo información entre los meses de noviembre a febrero por problemas de nubosidad.

Ahora, los puntos de color rojo en la **Figura 12** y **Figura 13** que representan buena calidad, no se basan solamente por los problemas atmosféricos, sino también, por problemas en el escaneo de la cubierta terrestre o desfase entre ellos, tal es el caso de la **Figura 14**, donde se aprecian estos inconvenientes.

Este es uno de los principales desafíos que presenta la teledetección, de poder analizar en lugares donde las condiciones atmosféricas perjudican la observación de la cubierta terrestre (John A. Richards, 2012) por ciertos periodos mensuales, representando gaps y limitando la detección de cicatrices de áreas quemadas en una serie temporal determinada.



Figura 12. Distribución de todas las imágenes Landsat colectadas para el Path/Row: 002/068. Fuente: Elaboración propia.

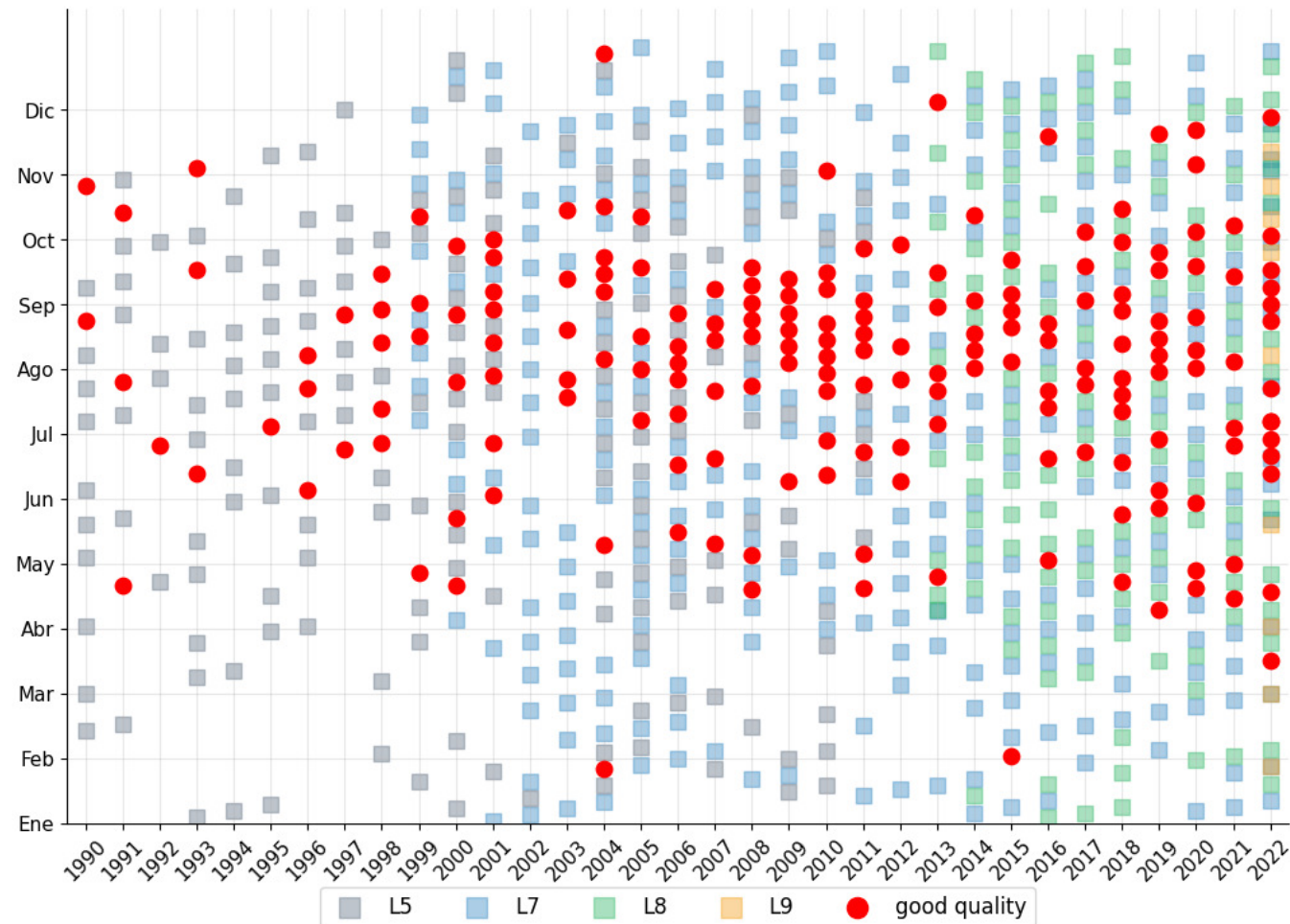


Figura 13. Distribución de todas las imágenes Landsat colectadas para el Path/Row: 003/068. Fuente: Elaboración propia.

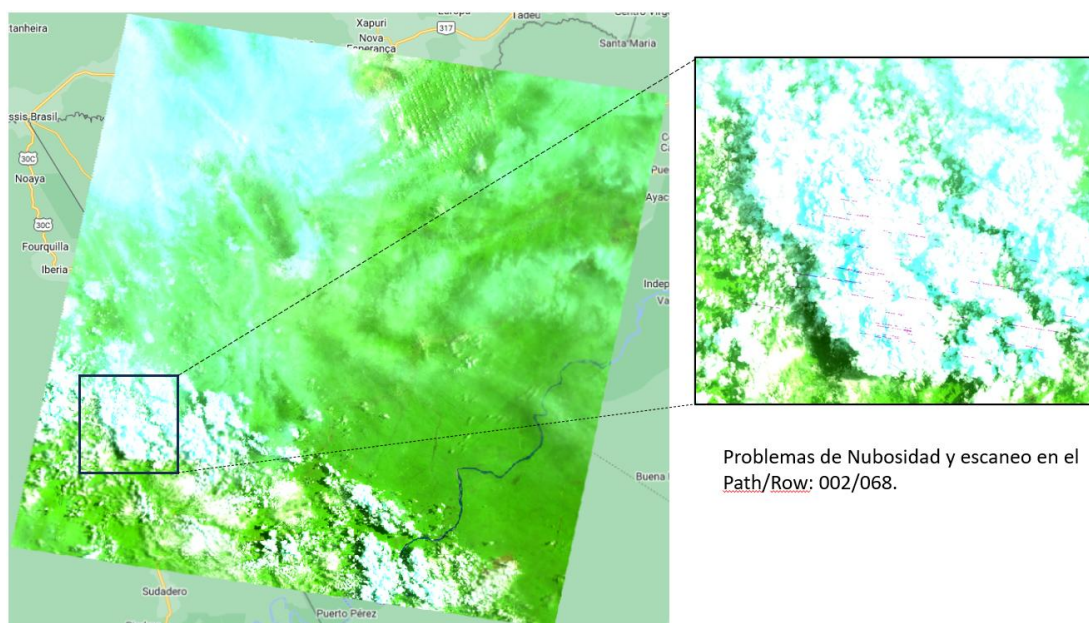


Figura 14. Problemas de nubosidad y escaneo en las imágenes Landsat 5. Fuente: Elaboración propia.

La **Tabla 3** presentada folios arriba, muestran una clara tendencia de aumento de los eventos de quemas en el área de estudio. Esto va de la mano por la presencia de carretera interoceánica que se construyó a partir del año 2004, lo que ayudó a la introducción de maquinaria para la expansión agrícola y pecuaria (Finer & Novoa, 2017).

En la **Figura 15**, se muestra los datos representados de la **Tabla 3**, donde se observa una alarmante tendencia en crecimiento de las cicatrices de áreas quemadas entre el periodo de 1990-2022. La gráfica muestra una clara aceleración para mediados de la década entre el 2000 y 2010, lo que muestra una relación directa con la finalización de la carretera interoceánica y la intensificación de la expansión de las áreas agropecuarias.

En la gráfica también podemos observar una variabilidad de cicatrices de áreas quemadas para algunos años, como el 2010, 2016 y 2019, que muestran picos significativos, lo que podría atribuirse gracias a las condiciones climáticas, cambios en la política forestal, etc., sin embargo, a pesar de ello, la tendencia del aumento de estos eventos es ascendente.

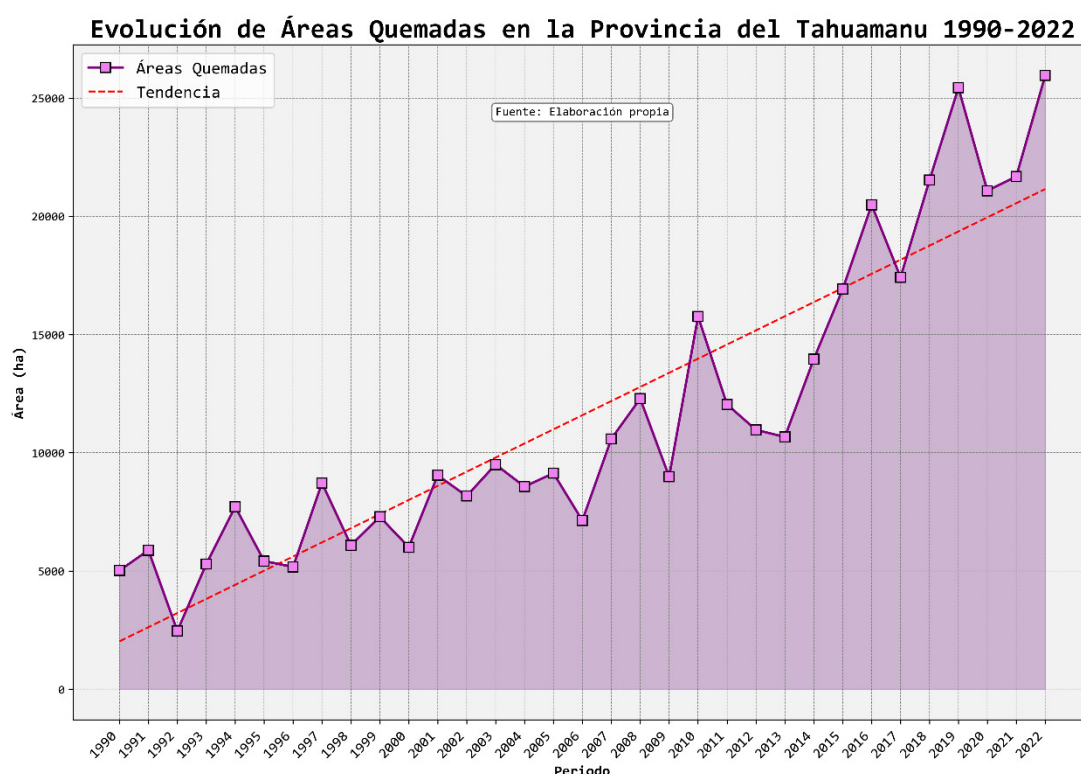


Figura 15. Evolución de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu 1990-2022. Fuente: Elaboración propia.

La magnitud del incremento de las cicatrices de áreas quemadas es sustancial, se calcula el incremento total de 417.07% y un incremento promedio anual de 10.66% (incremento promedio anual de 654.30ha) desde la década de los 90 hasta el año 2022. Esto nos plantea serias preocupaciones de cómo se está gestionado la ocupación y el cambio de uso del suelo en el área de estudio, sugiriendo que debe de haber

una rápida gestión de implementación de políticas de manejo y conservación de los recursos forestales.

La tendencia ascendente de las cicatrices que áreas quemadas, nos indican que existe presiones sobre los ecosistemas que continúa intensificándose, con una vista notable de conflicto entre el desarrollo económico y la conservación en esta parte de la Amazonía peruana. Esta directriz nos muestra claramente que los esfuerzos para controlar la deforestación y las quemas han sido ineficaces o insuficientes.

Las implicaciones de esta línea que va en aumento causan conflictos en el desarrollo sostenible de la provincia del Tahuamanu, ya que no solo presenta amenazas a la biodiversidad, sino también a los servicios ecosistémicos de la región, a su vez, puede conllevar a la larga, impactos sobre el clima regional y local. Esto subraya una necesidad de un notable cambio de la gestión del desarrollo económico, con la preservación de nuestro valioso recurso del patrimonio forestal y de fauna silvestre.

Con el propósito de ver la significancia de la evolución de las quemas en la provincia del Tahuamanu se realizó la prueba de Mann-Kendall a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, teniendo como resultado p-valor: $3.68762798075295e-11$ y $z = 6.6161$.

Según el resultado de la prueba Mann-Kendall, teniendo un valor de p-value ($3.68762798075295e-11$) que es extremadamente bajo, indica que es muy poco probable que la tendencia observada en las áreas

quemadas sea al azar, además, se afirma que la tendencia ($z = 6.6161$) es significativa-creciente (Alves et al., 2016) ya que el valor z es un indicador estadístico de la magnitud de la tendencia, es decir que hay un aumento significativo de las quemadas a lo largo del tiempo, y tiende a incrementarse, especialmente en la última década (2010-2020) donde los valores son más altos, esto puede tener implicaciones importantes en la gestión y conservación de los recursos.

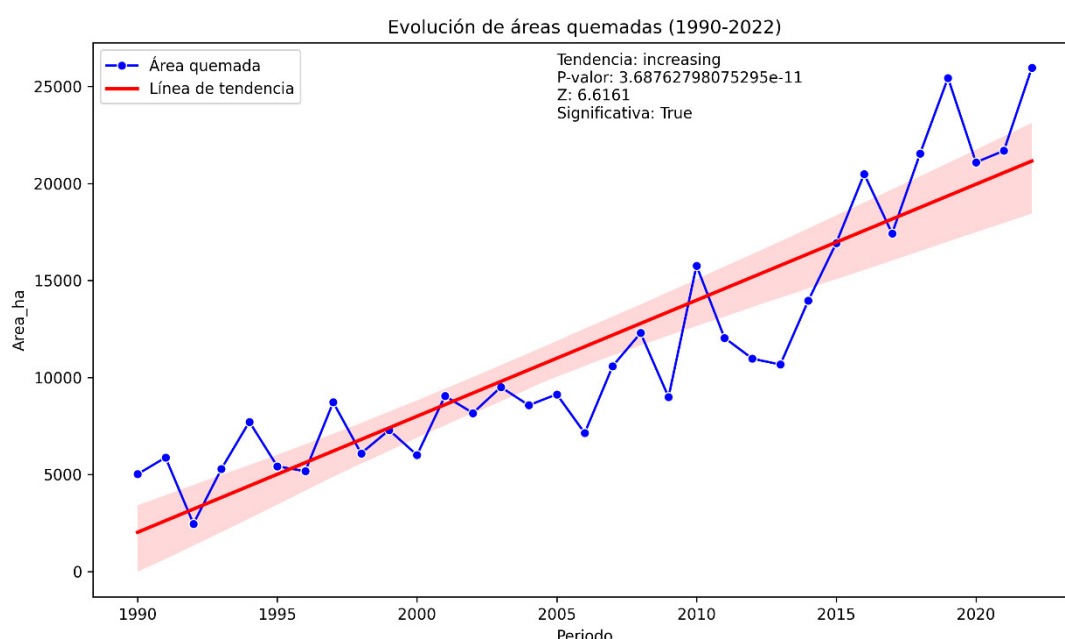


Figura 16. Prueba Mann-Kendall. Fuente: Elaboración propia.

Según la **Figura 17**, los tres distritos muestran una tendencia clara del incremento de las cicatrices de áreas quemadas, aunque con patrones distintos. Iberia, por ejemplo, presenta mayor superficie de áreas afectadas seguidamente después por Tahuamanu e Iñapari, revelando que presentan diferencias en la accesibilidad a los recursos, así como también, diferencias en las prácticas en el manejo de uso del suelo, lo que podría sugerir la necesidad de establecer estrategias de conservación adaptadas para área específica.

De la **Figura 17** y **Tabla 13** se puede analizar un incremento promedio anual de las quemadas de 13.85%, 6.52% y 18.27% para los distritos de Iberia, Iñapari y Tahuamanu respectivamente para el periodo de estudio.

El incremento de cicatrices de áreas quemadas se observa (en la **Figura 17** y **Tabla 13**) a partir de mediados de la década del 2000, coincidentemente con la construcción de la carretera interoceánica.

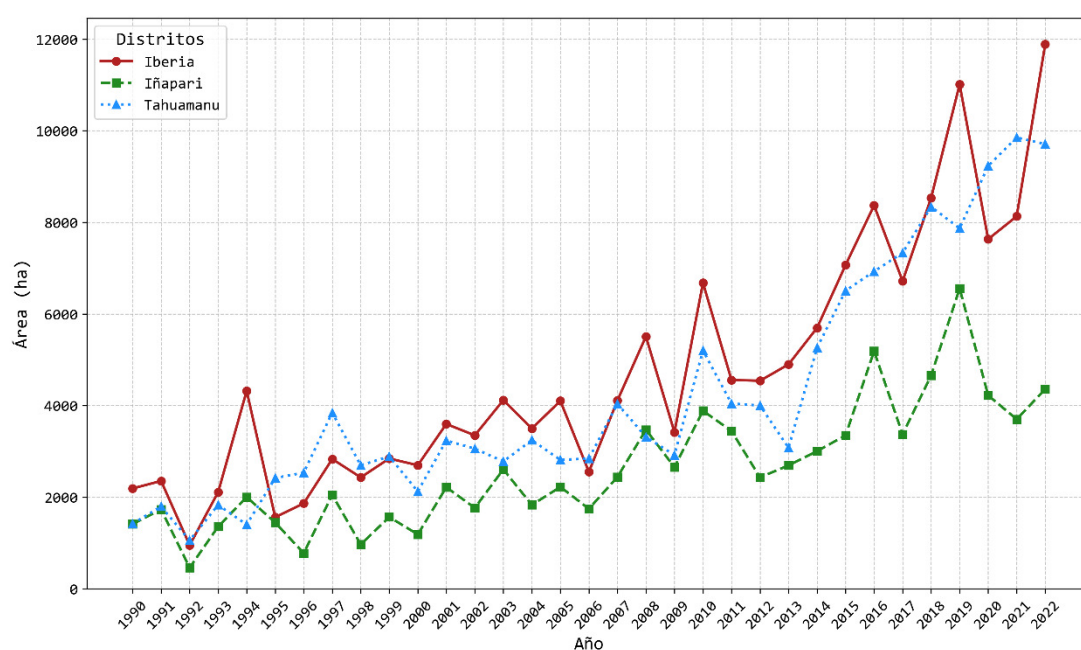


Figura 17. Evolución de las cicatrices de áreas quemadas en los tres distritos que pertenecen a la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

Esto da a entender los impactos que conlleva la construcción de infraestructura vial sobre el paisaje amazónico, facilitando la expansión de la frontera agrícola y pecuaria.

El incremento de cicatrices de áreas quemadas en el área de estudio, tiene implicaciones en la alteración de los ciclos biogeoquímicos, de la

misma manera, la quema de la biomasa libera grandes cantidades de carbono a la atmósfera, lo que puede alterar los ciclos del carbono y permite la contribución del cambio climático global.

Como resultado de estos eventos, también podemos afirmar que existe un aumento en la fragmentación del hábitat, que puede interrumpir drásticamente en el tránsito de especies de fauna y liberación de semillas, lo que repercute en la disminución en la conectividad del hábitat en la provincia del Tahuamanu. También podemos aseverar que hay una reducción en la resiliencia del ecosistema ante perturbaciones, lo que es preocupante para un departamento calificado como la Capital de la Biodiversidad del Perú por su riqueza ecológica.

Tabla 13. Superficies de cicatrices de áreas quemadas en los 3 distritos de la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

Período	IBERIA	IÑAPARI	TAHUAMANU
	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
1990	2,189.23	1,412.41	1,418.49
1991	2,352.93	1,730.41	1,795.42
1992	949.52	458.33	1,056.91
1993	2,109.02	1,356.16	1,828.47
1994	4,320.18	1,999.21	1,400.08
1995	1,560.87	1,446.67	2,417.65
1996	1,862.96	775.00	2,533.83
1997	2,831.81	2,049.59	3,842.75
1998	2,431.01	966.62	2,695.27
1999	2,842.80	1,564.87	2,887.51
2000	2,696.01	1,185.86	2,123.88
2001	3,597.04	2,215.30	3,235.79
2002	3,349.24	1,765.01	3,057.62
2003	4,118.39	2,606.10	2,780.28
2004	3,497.70	1,829.78	3,244.09
2005	4,101.21	2,222.31	2,813.12
2006	2,551.11	1,744.99	2,842.04
2007	4,110.37	2,438.88	4,038.74

Período	IBERIA	IÑAPARI	TAHUAMANU
	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
2008	5,508.06	3,471.79	3,313.10
2009	3,416.87	2,654.43	2,919.17
2010	6,680.23	3,884.83	5,202.77
2011	4,558.44	3,444.38	4,043.46
2012	4,541.14	2,430.86	4,000.40
2013	4,898.41	2,692.68	3,078.30
2014	5,695.97	3,003.27	5,261.38
2015	7,068.40	3,348.09	6,506.41
2016	8,370.00	5,186.90	6,930.38
2017	6,718.03	3,370.16	7,334.87
2018	8,535.08	4,657.39	8,340.52
2019	11,013.17	6,557.62	7,870.03
2020	7,633.67	4,221.68	9,231.95
2021	8,132.36	3,699.88	9,853.67
2022	11,889.10	4,357.80	9,710.70
TOTAL	156,130.34	86,749.25	139,609.04

Este aumento notable de las quemadas en los tres distritos puede tener impactos significativos en el clima regional y local, las actividades humanas que generan la deforestación y los cambios de uso de suelo alteran los patrones de evapotranspiración, lo que afecta potencialmente en los regímenes de las lluvias, donde la reducción de la humedad atmosférica, aumenta la susceptibilidad del ecosistema a futuros incendios.

Al igual que el análisis de las cicatrices de áreas quemadas por toda la provincia, en los tres distritos urge la necesidad de implementar estrategias de conservación y manejo, políticas de desarrollo económico en la preservación de los recursos forestales, restauración de ecosistemas degradados y programas de educación ambiental, para poder revertir el incremento de superficies quemadas.

4.2.2. Del Mapa de Frecuencias

Según el Mapa de Frecuencias (**Figura 6**), se observa una alta concentración de estos eventos en el distrito de Iberia y partes de Iñapari, lo que se aprecia que estos sucesos avanzan desde el Este, pudiendo seguir un patrón de expansión agrícola y ganadera de los países vecinos como Brasil y Bolivia.

El Mapa Frecuencias marcan las zonas que repetidamente han sido quemadas (naranjas y rojos), algunas veces hasta 32 veces en 33 años, señalando que esto es extremadamente perjudicial para la regeneración natural del bosque y degradación del suelo.

Estas zonas que presentan una recurrencia de quemas anuales muy probablemente han sufrido una pérdida irreversible para la biodiversidad, estas repeticiones de incendios eliminan las semillas presentes en el suelo, aumenta la proliferación de especies invasoras resistentes al fuego y la regeneración natural.

Las cicatrices de áreas quemadas actúan como barreras para la dispersión de semillas de especies nativas, lo que dificulta la recolonización de especies naturales presentes en ese ecosistema, y a su vez, genera un empobrecimiento de la genética de las poblaciones vegetales.

Estas superficies que son frecuentemente quemadas crean islas rodeadas de bosques, que limitan la dinámica del tránsito de la fauna,

reduciendo el flujo genético, lo que provocaría la alteración de las interacciones ecológicas que son fundamentales para el ecosistema.

La recurrencia también puede conllevar un impacto negativo a la economía local, regional y nacional, ya que afectaría negativamente a las actividades económicas sostenibles, como la castaña, shiringa, ecoturismo y la investigación científica etc., pudiendo sufrir una reducción de los ingresos locales y pérdida de desarrollo económico.

A su vez, el aumento de las quemadas que se está incrementando año tras año, también aumenta el humo y cenizas en el ambiente, pudiendo tener efectos negativos en la salud respiratoria, desarrollando una carga extra para el sistema de salud local y nacional.

4.2.3. De la determinación de patrones de distribución espacial

4.2.3.1. Análisis de patrones – Autocorrelación espacial (Índice Global de Moran I)

Para determinar los patrones de distribución en la provincia del Tahuamanu se usó la autocorrelación espacial del Índice Global de Moran I, en base al mapa de Frecuencia de Cicatrices de Áreas Quemadas.

Para las cicatrices de áreas quemadas se aplicó un umbral de distancia de 104654.84 que da por defecto el programa ArcGIS Pro, este número permite que todas las entidades tengan al menos un vecino, y como

resultado el Índice Global de Moran I da un valor de 0.388027, una puntuación z de 5.611865 y un valor p de 0.000000 (**Figura 7**).

Estos resultados no dan a entender que los registros son agrupados porque el Índice Global de Moran es mayor que 0 (Moran = 0.388027), es decir hay una fuerte autocorrelación positiva, lo que indica que los eventos se agrupan en lugares geográficos cercanos. La puntuación z representa la desviación estándar que se aleja del valor I observado del valor esperado si la distribución fuera aleatoria, en este caso tomó el valor de 5.611865 lo que sugiere una autocorrelación positiva (agrupamiento de valores similares). Y el valor de $p = 0.000000$ (**Figura 7**), nos da a entender que la autocorrelación espacial es significativa, indicando que los patrones espaciales observados no son aleatorios.

4.2.3.2. Análisis de puntos calientes – *Optimized Hot Spot Analysis*

El mapa de puntos calientes de la provincia del Tahuamanu, está basado en las cicatrices de áreas quemadas 1990-2022, en el cual muestra patrones de estos eventos a lo largo de 33 años en parte de la región amazónica, proporciona una visión integral de zonas mayor recurrencia de las quemas en el área, revelando zonas más vulnerables.

Se puede apreciar (**Figura 8**) los diferentes niveles de colores para conocer la significancia e identificación de los puntos calientes y fríos. Los polígonos de color rojo muestra una alta significancia en la frecuencia de quemas (puntos calientes) con un 99% de confianza, por otro lado, los polígonos de colores azules representan una baja

frecuencia de las quemas (puntos fríos) también con un porcentaje del 99% (**Figura 8**).

También se puede observar que la mayoría de los puntos calientes están al borde de la frontera con Brasil y Bolivia, entendiendo que las zonas fronterizas están experimentando una recurrencia de las quemas relacionado con la ampliación de la frontera agrícola y pecuaria.

Por otro lado, estos puntos calientes generados por las quemas, afectaría a los hábitats de muchas especies, el desplazamiento, reducción de refugios y recursos alimenticios.

Se resalta que el mapa representa un análisis de largo periodo de tiempo, siendo una herramienta valiosa para tomar decisiones en temas de gestión ambiental y ordenamiento territorial en la provincia del Tahuamanu, identificando zonas prioritarias para la conservación de los bosques, así como también intervenciones para mitigar la frecuencia de las quemas y reemplazarlas por otras prácticas amigables con el medio ambiente.

4.2.3.3. Análisis de clúster y valores atípicos – *Optimized Outlier Analysis*

Los polígonos de color rosa que son los High-High Clúster (**Figura 9**), indica que son los puntos críticos donde la recurrencia de las quemas es alta, representando zonas de mayor degradación forestal, con la biodiversidad está bajo amenaza. Estas repeticiones aumentan la

fragmentación del hábitat, que repercute a especies de fauna que requieren extensas zonas para su movimiento.

Los de color rojo (High-Low Outlier) representan valores atípicos (**Figura 9**), zonas que han tenido altas incidencias en las quemas, en zonas que no tuvieron alta recurrencia en el tiempo, en temas ecológicos, muy preocupante, que simbolizan nuevos frentes de cambio de uso del suelo o actividades ilegales que están comenzando a mostrarse, amenazando la integridad de los ecosistemas naturales.

Los de color azul (Low-High Outlier) (**Figura 9**) representan áreas de conservación ya que están rodeadas por zonas de alta concentración de la recurrencia de las quemas, esto podría funcionar como pequeños microhábitats, y su conservación de estas superficies es necesario para mantener la biodiversidad frentes a las perturbaciones continuas.

Los de color celeste (Low-Low Clúster) (**Figura 9**), son registros y sus zonas circundantes con recurrencias de las quemas durante el periodo analizado, que podrían estar mejor conservadas o menos expuestas a las actividades humanas en comparación con los High-High Clúster.

Finalmente, los polígonos de color blanco (Not Significant) (**Figura 9**), representan patrones espacialmente significativos donde no hubo quemas, pero también sugiere monitoreo continuo para saber si en el futuro habrá cambios a futuro.

4.2.3.4. De la afectación de las quemadas en los ecosistemas de la provincia del Tahuamanu

De la **Tabla 5**, se tomaron los datos y se generó la **Figura 18**, que representa la afectación de las quemadas en los Ecosistemas presentes en el área de estudio.

El resultado del análisis de superposición entre el Mapa Nacional de Ecosistemas y las áreas afectadas por las quemadas en la provincia de Tahuamanu, periodo 1990-2022, reveló un patrón diferencial entre los diversos ecosistemas presentes en la provincia. El estudio cuantitativo muestra que cinco tipos de ecosistemas fueron impactados por las quemadas durante de 33 años.

El ecosistema de Bosque de Colina Baja fue la más impactada, con una extensión de 33841.60ha quemadas (**Tabla 5 y Tabla 5. Afectaciones de los ecosistemas en la provincia del Tahuamanu producto de las quemadas. Fuente: Elaboración propiaFigura 6**). Esta vasta afectación puede atribuirse a varios factores, por ejemplo, este ecosistema es la que tiene mayor extensión territorial en toda la provincia, los diversos accesos que se tiene al mencionado ecosistema, y al ser el más vasto, se necesita expandir más la frontera agrícola, por lo cual, es ahí donde se producirá las quemadas, para depurar la cobertura vegetal.

El segundo ecosistema más impactado es el Bosque Aluvial Inundable con una superficie de 2199.09ha quemadas (**Tabla 5 y Tabla 5. Afectaciones de los ecosistemas en la provincia del Tahuamanu producto de las quemadas. Fuente: Elaboración propiaFigura 6**). A

pesar que este tipo de terreno es periódicamente inundable, se podría pensar que tiene cierta resistencia a las quemas, lo cierto es que es tipo de suelos son ricos en nutrientes (WCS, 2020), por ende, se aprovecha básicamente para instalación de parcelas agrícolas, por lo que se tiene que desboscar y posteriormente quemar para eliminar la cobertura vegetal.

El tercer ecosistema más impactado es el Bosque de terraza no inundable, ya que presenta una afectación de 823.49ha quemadas (Tabla 5 y **Tabla 5. Afectaciones de los ecosistemas en la provincia del Tahuamanu producto de las quemas. Fuente: Elaboración propia**Figura 6). Este medio presenta una topografía generalmente plana o con leves ondulaciones de hasta 20 metros de altura a medida que se aleja del río, incluyendo además las terrazas antiguas en proceso de erosión circundadas muchas veces por el bosque de colinas bajas (MINAM, 2019), lo que también lo hace susceptible a intervenciones antrópicas que pudieran resultar afectados por las quemas.

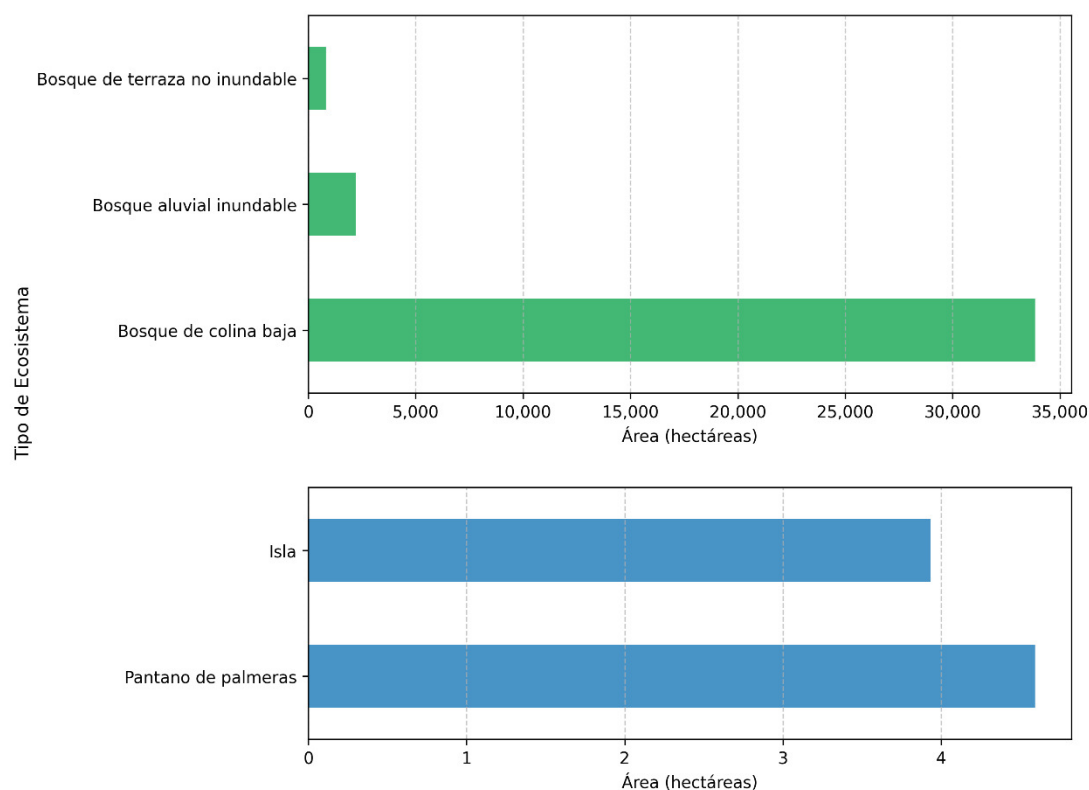


Figura 18. Superficies afectadas de las quemadas sobre los ecosistemas presentes en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

Los ecosistemas de Pantano de palmeras e Islas presentan son las que presentaron menor superficie afectada con 4.59ha y 3.93ha respectivamente. Estos datos podrían explicarse por la accesibilidad que presentan, las islas por estar aislado están menos expuestas a las actividades humanas y los pantanos de palmeras, tienen mayor humedad lo que dificulta las quemadas.

Estos impactos contradicen lo establecido en la Ley General del Ambiente N° 28611, el cual establece las pautas para la conservación de los ecosistemas frágiles. El artículo 98² menciona la importancia para

² **Artículo 98** de la Ley General del Ambiente N° 28611. La conservación de los ecosistemas se orienta a conservar los ciclos y procesos ecológicos, a prevenir procesos de su fragmentación por actividades antrópicas y a dictar medidas de recuperación y rehabilitación, dando prioridad a ecosistemas especiales o frágiles.

la mitigación de la fragmentación de los ecosistemas frágiles. El artículo 99.1³ menciona que las autoridades deben tomar medidas de protección especial. El artículo 99.2⁴, identifica a las islas, pantanos y humedales como ecosistemas frágiles, áreas que fueron intervenidas en el área de estudio (provincia del Tahuamanu). El artículo 99.3⁵ reconoce a los humedales como hábitats particulares. Estas perturbaciones demuestran un claro desconocimiento y deficiencia de implementación de la normativa por parte de los poseionarios como el de las autoridades locales, regionales y nacional justamente para sus protección y conservación de estas superficies sensibles.

Test Kruskal-Wallis:

Para evaluar si hay diferencias significativas entre las medianas de los ecosistemas afectadas por las quemadas se usó el test de Kruskal-Wallis, ya que los datos no son normales. Los resultados son los siguientes:

- Estadístico: 24.2294801890531
- p-value: 0.0000718447297525409 (<0.05)
- Significativo: True

³ **Artículo 99.1** de la Ley General del Ambiente N° 28611. En el ejercicio de sus funciones, las autoridades públicas adoptan medidas de protección especial para los ecosistemas frágiles, tomando en cuenta sus características y recursos singulares; y su relación con condiciones climáticas especiales y con los desastres naturales.

⁴⁴ **Artículo 99.2** de la Ley General del Ambiente N° 28611. Los ecosistemas frágiles comprenden, entre otros, desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos, bofedales, bahías, islas pequeñas, humedales, lagunas alto andinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relicto.

⁵ **Artículo 99.3** de la Ley General del Ambiente N° 28611. El Estado reconoce la importancia de los humedales como hábitat de especies de flora y fauna, en particular de aves migratorias, priorizando su conservación en relación con otros usos.

El resultado indica que existen diferencias estadísticamente significativas de las clases de los ecosistemas en función de las superficies afectadas por las quemadas, ya que el p-value (0.0000718447297525409) es menor a 0.05, la cual se rechaza la hipótesis nula que sugiere que los ecosistemas evaluados tienen la misma mediana de áreas quemadas.

Dado que la prueba de Kruskal-Wallis salió significativo, se procedió a realizar las comparaciones mediante la prueba post-hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner (DSCF), con el objetivo de ver entre que pares de ecosistemas existen diferencias significativas de área quemada.

Tabla 14. Valores de p-values del comparativo de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner.

	A	B	C	D	E
A	1.0000	0.0010	0.0200	0.8369	0.0309
B	0.0010	1.0000	0.9000	0.7317	0.1892
C	0.0200	0.9000	1.0000	0.6476	0.2596
D	0.8369	0.7317	0.6476	1.0000	0.2155
E	0.0309	0.1892	0.2596	0.2155	1.0000

Dónde:

A= Bosque aluvial inundable

B= Bosque de colina baja

C= Bosque de terraza no inundable

D= Isla

E= Pantano de palmeras

Los resultados de la **Tabla 14** muestran hallazgos interesantes, solo existen 3 pares que tienen diferencias estadísticamente significativas

en el área quemada que son: Bosque aluvial inundable vs. Bosque de colina baja ($p < 0.001$), Bosque aluvial inundable vs. Bosque de terraza no inundable ($p = 0.020$) y Bosque aluvial inundable vs. Pantano de palmeras ($p = 0.031$), ya que los p-value de estos pares son menores que el umbral de significancia (0.05).

En el caso de Bosque aluvial inundable vs. Bosque de colina baja ($p < 0.001$), la diferencia entre estos ecosistemas en relación de las áreas quemadas no se debe al azar, a su vez, se puede afirmar que el ecosistema de Bosque de colina baja presenta mayor susceptibilidad a incendios a comparación con el bosque aluvial inundable.

Otra diferencia se encontró con el par Bosque aluvial inundable vs. Pantano de palmeras ($p = 0.031$) y Bosque aluvial inundable vs. Bosque de terraza no inundable ($p = 0.020$), las cuales tienen patrones de variaciones significativos. Estas diferencias pueden atribuirse o puede ser relacionada con las características hidrológicas, edáficas y estructurales de cada ecosistema, influyendo en el recurso de combustible y la propagación del fuego.

4.2.3.5. De la afectación al uso de suelo en la provincia del Tahuamanu

Con la información obtenida presentes en **Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11** y la **Tabla 12**, se realizó la **Figura 19**, cuyo objetivo es mostrar gráficamente las afectaciones de los eventos de las quemadas sobre el uso de suelo presente en la provincia del Tahuamanu.

El análisis temporal de la afectación de las quemadas en relación con el uso de suelo, demuestra datos significativos de perturbación, por ejemplo, de la **Figura 19**, se puede observar que la clase Pastizales/Herbazales es la que más se quema en la provincia del Tahuamanu, es la clase predominante, ya que la actividad pecuaria es la segunda operación económica más importante después de la extracción forestal (Municipalidad Provincial del Tahuamanu, 2024). Se observa claramente que se afectó cerca de 3000ha en el año 2000, sin embargo, tuvo su apogeo en el año 2018 por más de 14000 ha quemadas.

Por otro lado, se puede observar que la segunda clase más impactada es Vegetación Secundaria, teniendo un pico más alto en el año 2020 con más de 3000ha quemadas, con ello se puede entender que no se está dejando recuperar la vegetación de forma natural, y que se está removiendo para alguna otra actividad, comprobándose que en todos los años (comparados) se está produciendo la remoción de esta clase.

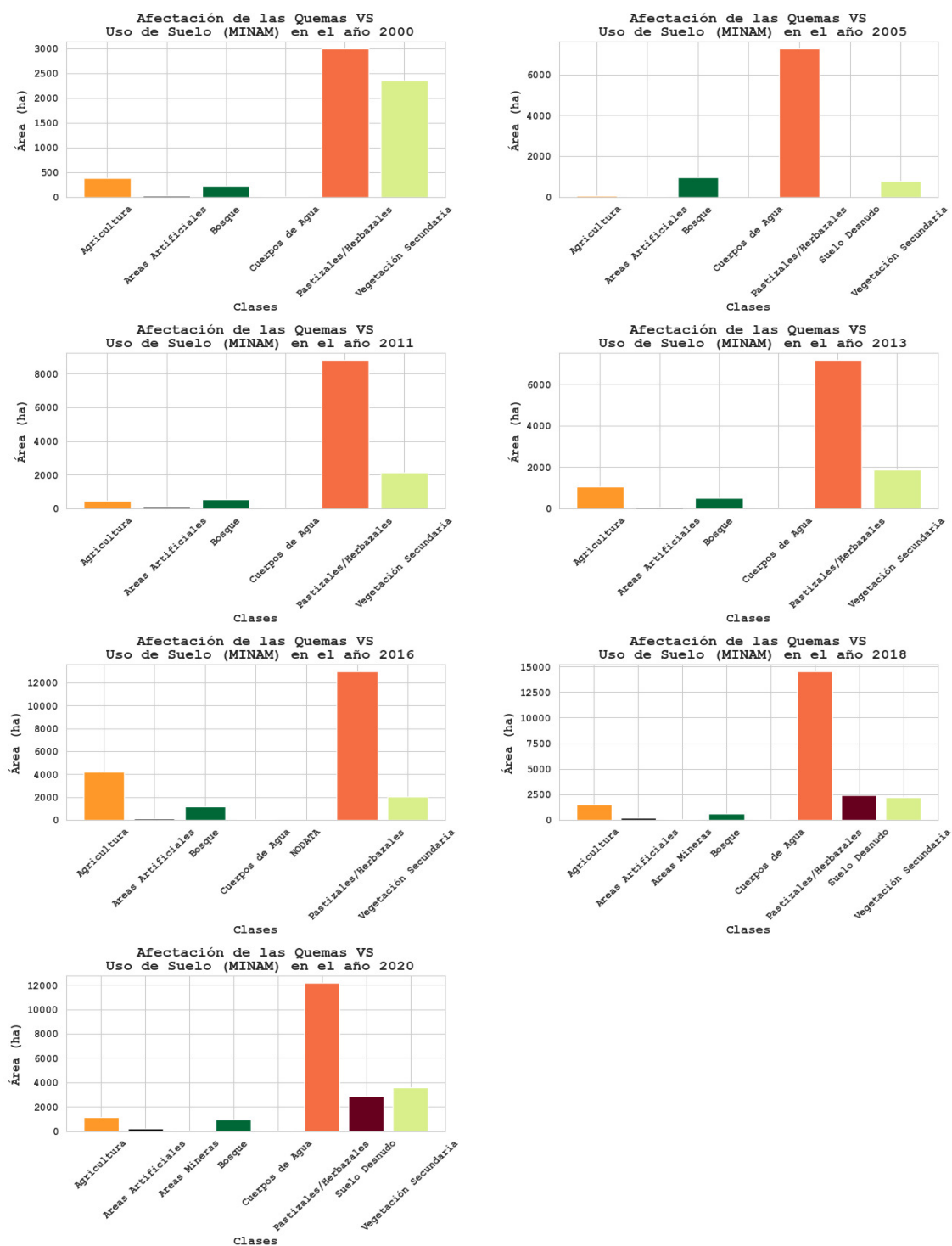


Figura 19. Afectación de las quemas en el uso de suelo. Fuente: Elaboración propia

Las Áreas Agrícolas están demostrando que existe una fluctuación en su afectación, por ejemplo, en el año 2013 se afectó 1054.30ha quemadas, en el 2016 más de 4000ha quemadas, disminuyendo en el

2022 solo a 1141.11ha quemadas, esto podría tener alguna correlación entre las prácticas agrícolas con las quemas, posiblemente con la agricultura migratoria.

Otro dato importante, pero con menor superficie, es la afectación de las quemas a los Bosques, en el año 2016 se observa un impacto de más de 1000ha, sin embargo, es importante resalta que todos los años se está removiendo bosque primario para convertirse en algún tipo de actividad económica, revelando que existe presiones antrópicas en esta clase.

En la **Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12** y la **Figura 19**, muestra la clase como Área Minera, es preciso recalcar que en la provincia del Tahuamanu no practica la minería (Municipalidad Provincial del Tahuamanu, 2024), siendo esta clase un error por parte del mapa de uso de suelo generado por el MINAM. Así mismo, las clases de Cuerpos de Agua y Áreas Artificiales, presentes en las tablas y figura mencionada, también indicaría errores metodológicos y clasificación en el procesamiento de las imágenes.

Esta observación, demuestra la importancia de implementar protocolos de control de la generación de la información, así como también, manejo del error, ya que estas clases mencionadas en el párrafo anterior representan falsos positivos.

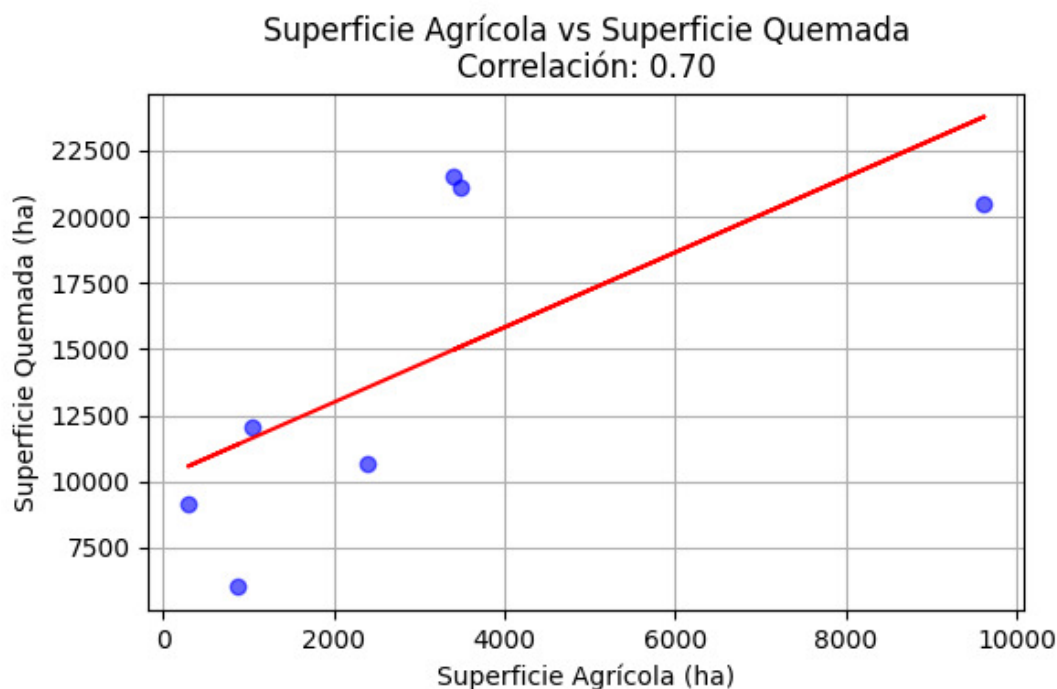


Figura 20. Gráfico de dispersión entre la superficie agrícola y la superficie quemada en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 20** muestra la relación entre la superficie agrícola (eje x) y la superficie quemada (eje y) en la provincia del Tahuamanu. El valor obtenido de 0.70 muestra la correlación entre estas dos variables, lo que indica una correspondencia moderada alta.

Al ser un valor positivo, indica que a medida que aumenta las superficies agrícolas, también aumenta las quemas, es decir, existe una correlación directamente proporcional entre estas dos variables.

Por otro lado, la **Figura 21**, muestra la relación entre pastizales/herbazales (eje x) y la superficie quemada (eje y) en la provincia del Tahuamanu. El valor obtenido de 0.86 muestra la correlación entre estas dos variables, lo que indica una correspondencia fuerte.

Al ser un valor positivo, indica que a medida que aumenta las superficies de pastizales/herbazales, también aumenta las quemadas, es decir, existe una correlación directamente proporcional entre estas dos variables.

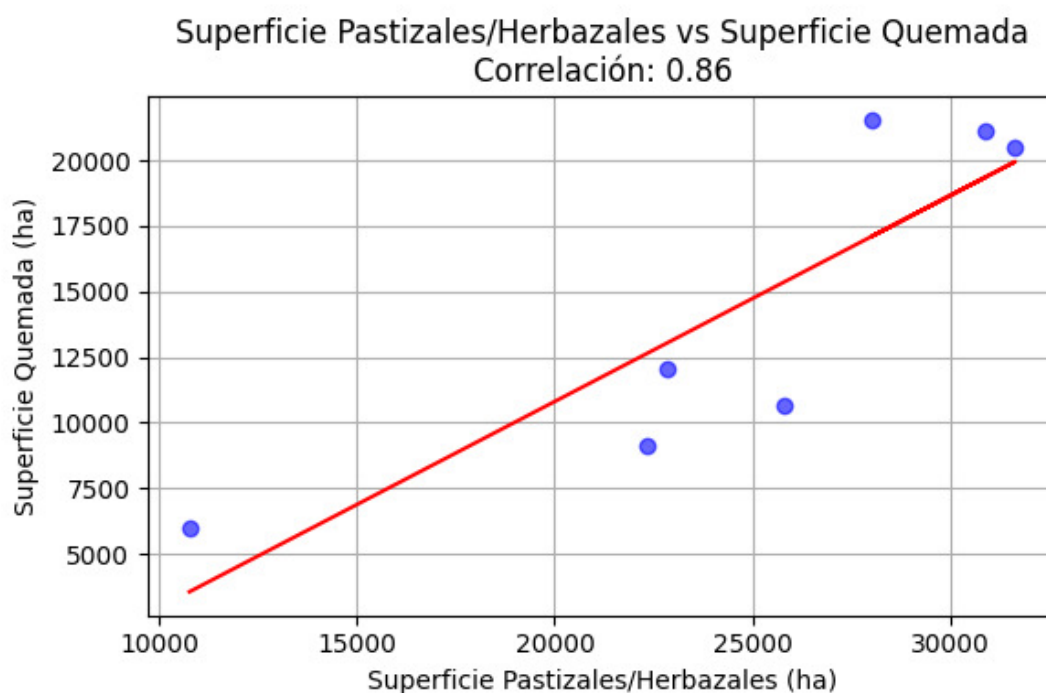


Figura 21. Gráfico de dispersión entre la superficie pastizales/herbazales y la superficie quemada en la provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

4.2.4. Otros análisis. Evolución (2002-2022) de las cicatrices de áreas quemadas en las concesiones forestales

Para realizar el análisis, primero tenemos que tener en cuenta que las Concesiones Forestales en sus diferentes modalidades, tiene como objetivo principal, garantizar el manejo sostenible y la conservación de los recursos forestales y de fauna silvestre; sin embargo, la situación actual todavía se encuentra muy lejos de lograr estos efectos (OSINFOR, 2012).

Con la Ley Forestal N° 27308 dada en el año 2000, sentó las bases para el aprovechamiento forestal sostenible, y en el año 2002, el Estado otorgó las Concesiones Forestales mediante concursos públicos (OSINFOR, 2012).

En el artículo 207 del Reglamento de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, menciona que realizar la quema de los recursos forestales que forman parte del Patrimonio y Provocar Incendios, corresponden a una infracción muy grave. Siendo sancionado por rangos: a. De 0.1 hasta 3 UIT por la reincidencia de una infracción leve, luego de ser sancionado con amonestación. b. Mayor a 3 hasta 10 UIT por la comisión de infracción grave. c. Mayor a 10 hasta 5000 UIT por la comisión de infracción muy grave (Art. 209.2. Reglamento de La Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763).

El presente estudio no se centra si algún concesionario en especial, tuvo algún permiso para realizar quemas dentro de sus títulos habilitantes, solo es informativo y descriptivo de los hallazgos encontrados de las cicatrices de áreas quemadas con las Concesiones Forestales en cualquiera de sus modalidades.

Por ende, el presente análisis empezará desde el año 2002 al 2022, para ver la dinámica de cicatrices de áreas quemadas en las Concesiones Forestales.

La **Figura 22a** presentada, muestra la evolución de las cicatrices de áreas quemadas en las concesiones forestales en el periodo de 2002-2022. En la figura a), se observa un aumento significativo de las

quemadas, principalmente las modalidades de "Maderable" y "Castaña" son las que evolucionaron en 20 años. Este incremento puede estar relacionado con las malas prácticas de la gestión forestal. La Ley Forestal vigente, la cual regula el uso de recursos forestales, establece restricciones en el uso del fuego, enfatizando que su uso debe ser controlado y justificado para evitar daños irreparables al ecosistema.

Por otro lado, las concesiones en las modalidades de Conservación, Productos Forestales Diferentes a la Madera (PFDM) y Ecoturismo, tuvieron menores superficies acumuladas (**Figura 22b**), aunque su superficie es menor es impactante, ya que sus finalidades son de preservar, no se debería quemar los bosques para algún cambio de uso de suelo⁶.

En lo que respecta a la concesión de Conservación, el 21 de diciembre del 2020 fue reconocido como Ecosistema Frágil⁷ (El Peruano, 2020), sin embargo, en el año 2022 tuvo más de 40 ha de superficies quemadas, cuyos polígonos están distribuidos de forma aleatoria. Estos eventos no concuerdan con los objetivos de creación de la Concesión de Conservación y como Ecosistema Frágil.

Estas modalidades (Conservación, Ecoturismo y PFDM), que buscan equilibrar la conservación de la biodiversidad con el uso sostenible de

⁶ El presente estudio, no distingue si el titular fue el actor principal de las quemadas o fue realizado por algún invasor (es).

⁷ Ecosistema Frágil: Ecosistemas señalados en la Ley General del Ambiente, que poseen ciertas características o recursos singulares con baja capacidad de retornar a sus condiciones originales e inestable ante eventos impactantes causados por el ser humano o la naturaleza, que producen en el mismo una profunda alteración en su estructura y composición (SERFOR, 2015).

los recursos forestales, afrontan retos significativos ante el aumento de las quemadas. Estos eventos podrían desestabilizar ecosistemas frágiles, el intercambio genético de la flora y fauna nativa, entre otros.

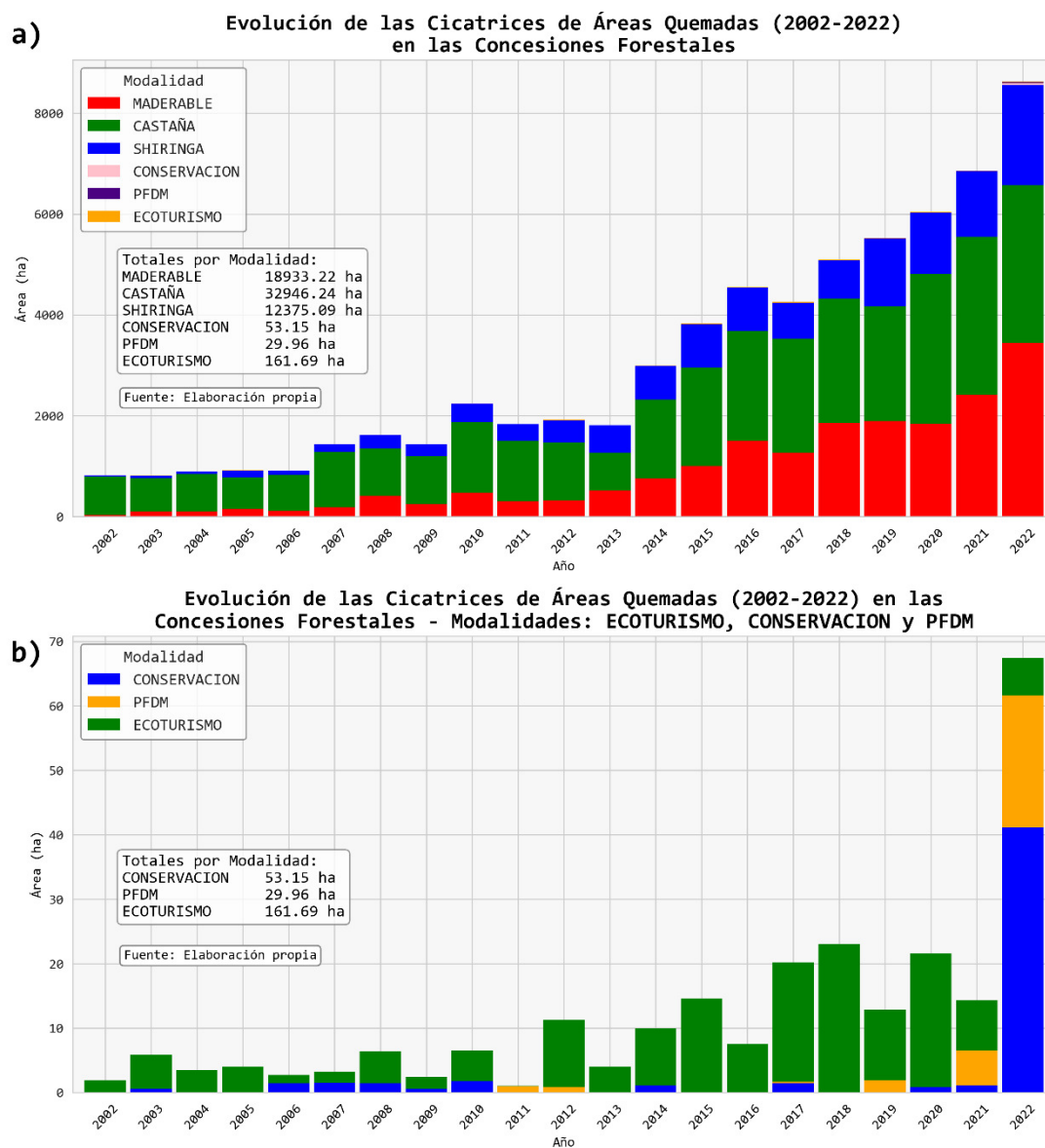


Figura 22. a) Muestra la evolución de las quemadas en concesiones forestales, en este gráfico no se llega a apreciar las concesiones que tienen menor superficie. b) Muestra la evolución de las concesiones de Conservación, PFDM y Ecoturismo. Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 23.** Se puede apreciar la evolución de las superficies quemadas en la Concesión de Conservación (17-TAM/C-CON-J002-05)

y que también es un Ecosistema Frágil (Noaya) desde el año 2020. Este tipo de Modalidad al igual que el Ecoturismo son particularmente preocupante. Estos eventos no solo perjudican la biodiversidad, sino también, pone en riesgo la viabilidad de proyectos de ecoturismo, que dependen justamente de la salud del todo el ecosistema. El Ecoturismo, gestionándolo adecuadamente, sería una fuente importante de ingresos y una herramienta para la conservación. Sin embargo, su éxito está íntimamente ligado a la preservación de los hábitats naturales.

Evolución de las Cicatrices de Áreas Quemadas en la Concesión de Conservación (17-TAM/C-CON-J-002-05) y Ecosistema Frágil Noaya

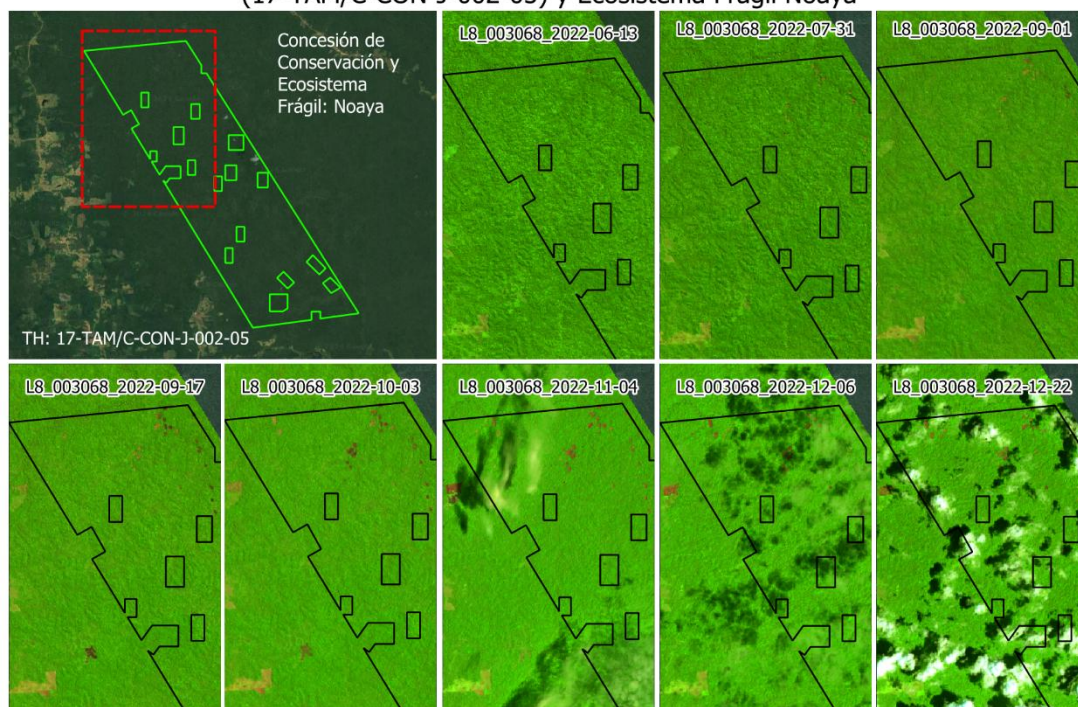


Figura 23. Incremento de las superficies de áreas quemadas en el año 2022 dentro de la Concesión de Conservación (17-TAM/C-CON-J002-05) que también es un Ecosistema Frágil (Noaya). Fuente: Elaboración propia.

En la **Figura 24.** muestra dos imágenes Landsat para diferentes zonas de la Provincia del Tahuamanu (Iberia y Alerta), se observa que en

ambos lugares las cicatrices bien marcadas, sobre todo en la Concesión Maderable en el sector de Flor de Acre y Pacahuara (Ambos sitios en el distrito de Iberia), y por otro lado la concesión de Shiringa y PFDM (en el sector de Alerta que está en el distrito del Tahuamanu), no se quedan atrás, ya que también se llega a visualizar las quemas.

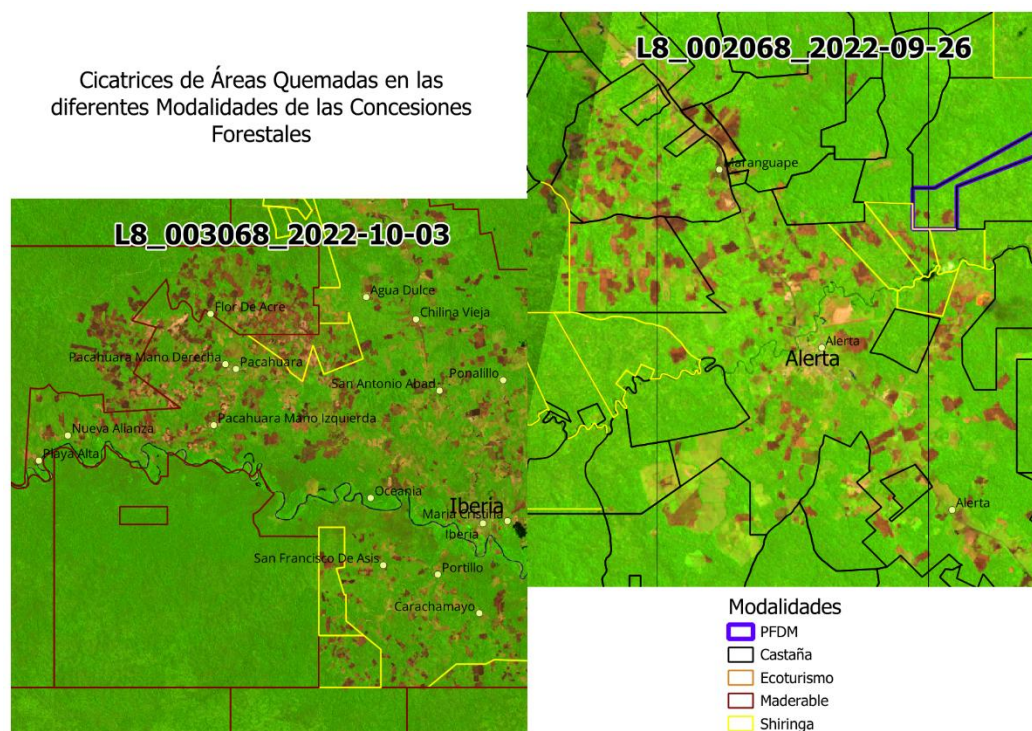


Figura 24. Imagen Landsat de las cicatrices de áreas quemadas en las Concesiones Forestales en la Provincia del Tahuamanu. Fuente: Elaboración propia.

En todo esto, surge la pregunta, estas concesiones donde se produjeron las quemas, ¿tendrán permiso favorable por el ente rector en realizar estas actividades? Y la **Figura 24**, solo es del año 2022. Para los 20 años en que se otorgaron las concesiones forestales (que es el periodo de análisis 2002-2022), todos estos registros de las cicatrices de áreas quemadas, ¿Habrán sido analizados y supervisados por el ente rector en materia forestal? Son solo algunas preguntas que saltan

automáticamente solo al mirar que los eventos se producen anualmente.

4.2.5. Análisis de la evaluación de la precisión y exactitud de las cicatrices de áreas quemadas

Para la evaluación de la exactitud y precisión de los resultados se tomará en cuenta la metodología hecha por Alencar et al., 2022, en el cual menciona que, por ser análisis históricos de quemas, se dificulta evaluarlos cada uno de ellos, ya que no se tiene acceso a información histórica y oportuna, por ende, solo se evaluará tres años con los siguientes criterios:

- Se escogerá clasificaciones que provienen del mismo satélite, pero de diferentes sensores.
- Se analizará las clasificaciones que tengan mayores, mínimas superficies obtenidas.

Con estos criterios y con los datos mostrados en la **Tabla 3**, se escogió evaluar los años 1992, 2012 y 2022, porque esos tres años se obtuvieron con sensores distintos (1992 se evaluó con Landsat 5, 2012 con Landsat 7 y 2022 con Landsat 8 y 9) además que representan las superficies mínimas y máximas.

La definición de las muestras se elaboró con la fórmula y valores señalados en el ítem 3.4.2. y 3.4.3., en base a ello se tuvo 384 puntos que serán distribuidos en toda el área de estudio para los tres años

escogidos para la evaluación. La lista de puntos se encuentra en los anexos.

En el siguiente mapa se muestra la distribución de las muestras al azar para el área de estudio para los tres años de evaluación.

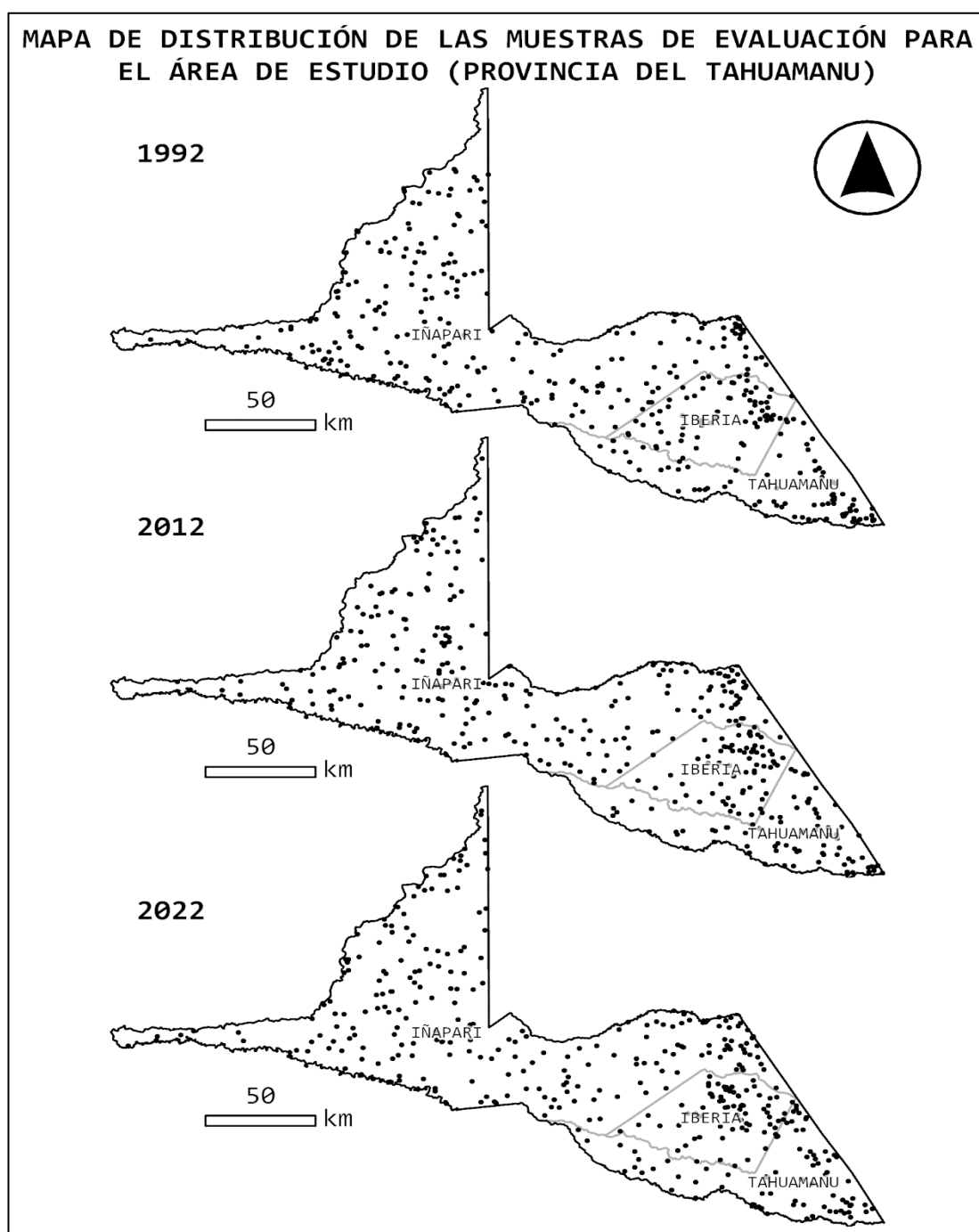


Figura 25. Mapas de distribución de las muestras de evaluación en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Se evaluará cada punto usando la capa de Cicatrices de Áreas Quemadas de los años seleccionados con otras capas de referencia, como datos de quemas del sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo los satélites Terra y Aqua (Focos de calor), ya que es una fuente confiable para áreas afectadas por las quemas (Alencar et al., 2022), el producto usado es el MCD14DL que tiene una resolución espacial de 1km y una resolución temporal de 15 días utilizable para todo el mundo y está disponible en <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>, en la cual se tiene datos a partir del año 2001 a la fecha.

Alencar et al., 2022, en su estudio de mapeo de los incendios en Brasil para los periodos de 1985 -2020, sus insumos para la validación para capas desde el 2000 para adelante usó datos de focos de calor del producto MODIS, sin embargo, para años anteriores al 2000 no usó datos de referencia por falta de veracidad en los datos de focos calor (por ejemplo, información proveniente de los satélites NOAA y GOES), por tal motivo, para la presente investigación tampoco se usará esta información.

Para la validación del año 1992, ya que no se tiene información de otras fuentes, se usó la misma imagen (Landsat 5) para validarlo.

Por otro lado, se usó el producto de áreas de incendios detectados por MODIS específicamente por el producto MCD64A1, que son polígonos clasificados como incendios, presenta un tamaño de pixel de 500m

utilizable para todo el mundo y disponible en el repositorio de *Google Earth Engine*.

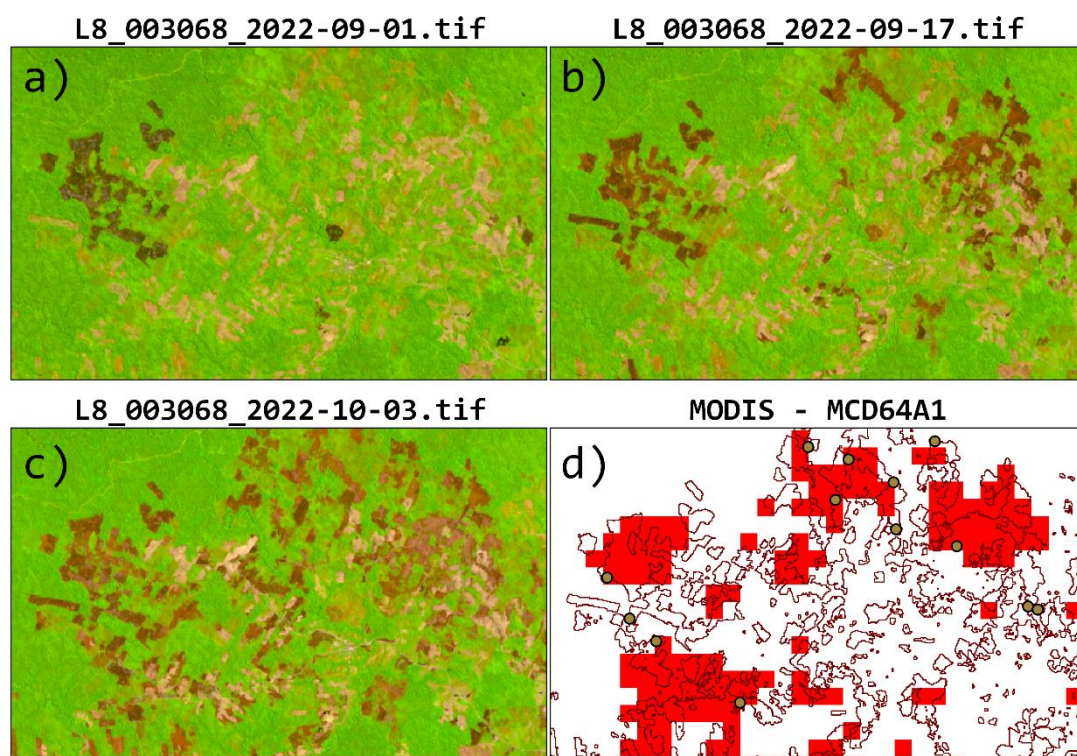


Figura 26. a, b, y c) Imágenes Landsat 8 de Cicatrices de Áreas Quemadas. d) Polígonos delimitados de las Cicatrices de Áreas Quemadas, los polígonos rojos son productos de los Incendios detectados por MODIS-MCD64A1, los puntos son las muestras para la validación. Fuente: Elaboración propia.

En base a los análisis que se efectuaron mediante la información de referencia y las capas clasificadas se tiene las siguientes matrices de confusión:

Tabla 15. Matrices de Confusión e índice de Kappa para los periodos analizados 1992, 2012 y 2022**Matriz de Confusión para el periodo 1992**

CLASES	Quema	No Quema	TOTAL	Comisión	Error Com. (%)	Error Omis. (%)	Pre. Glo. (%)	Prec. Usu. (%)	Prec. Prod. (%)	Kappa
Quema	70	7	77	7	9.09	0.00	98.18	90.91	100.00	0.94
No Quema	0	307	307	0	0.00	2.23		100.00	97.77	
TOTAL	70	314	384							
Omisión	0	7								

Matriz de Confusión para el periodo 2012

CLASES	Quema	No Quema	TOTAL	Comisión	Error Com. (%)	Error Omis. (%)	Pre. Glo. (%)	Prec. Usu. (%)	Prec. Prod. (%)	Kappa
Quema	72	5	77	5	6.49	14.29	95.57	93.51	85.71	0.87
No Quema	12	295	307	12	3.91	1.67		96.09	98.33	
TOTAL	84	300	384							
Omisión	12	5								

Matriz de Confusión para el periodo 2022

CLASES	Quema	No Quema	TOTAL	Comisión	Error Com. (%)	Error Omis. (%)	Pre. Glo. (%)	Prec. Usu. (%)	Prec. Prod. (%)	Kappa
Quema	66	11	77	11	14.29	8.33	95.57	85.71	91.67	0.86
No Quema	6	301	307	6	1.95	3.53		98.05	96.47	
TOTAL	72	312	384							
Omisión	6	11								

Según las matrices de confusión se puede dar cuenta que existe una evolución en el modelo de clasificación de las cicatrices de áreas quemadas, que a lo largo de los años se ve una tendencia hacia una ligera disminución sobre la concordancia entre las clasificadas predichas con las observadas, sugiriendo que, aunque el modelo es bueno, puede mejorarse tal vez acondicionando otras variables. Esto se ve reflejado en el valor de Kappa de 1990 con 0.94 en comparación con el valor de kappa de 2022 con 0.86. Esta disminución en kappa puede ser debido al incremento en la variabilidad de las características de las superficies de las quemas que va de la mano con el tiempo.

Los errores de comisión de la clase como “quema” aumentan conforme pasa el tiempo desde 1990 al 2022, lo que podríamos interpretar que el modelo estuvo clasificando áreas quemadas y que en realidad fueron áreas de “no quema”.

Los errores de omisión también experimentan una evolución en los resultados que pasa del 0% en 1990 a 8.33% para el 2022, esto se interpreta como las áreas que debieron ser clasificados como “no quema” fueron omitidas y clasificadas incorrectamente.

Sin embargo, a pesar que hubo una evolución en los errores de omisión y comisión, el modelo ha sido generalmente efectivo, ya que los valores del Índice de Kappa de los tres mapas están por encima de 0.85, lo que indica que es Casi Perfecto según los rangos establecidos por Cohen et al., 1960.

4.3. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.

4.3.1. Análisis de regresión lineal

La **Figura 27** muestra una clara tendencia ascendente en la superficie de áreas quemadas en la provincia de Tahuamanu entre 1990 y 2022, lo que indica un patrón consistente y predecible a lo largo del tiempo. El ajuste lineal evidencia una relación positiva entre el periodo y el área quemada, sugiriendo que este modelo puede ser útil para anticipar futuras superficies afectadas por incendios. A pesar de algunas fluctuaciones en los datos observados, la línea de tendencia refleja de manera confiable el comportamiento general del fenómeno, proporcionando una base sólida para entender su evolución en las últimas décadas.

Este análisis no solo ofrece una perspectiva cuantitativa de la expansión de las áreas quemadas, sino que también subraya la utilidad del modelo de regresión para realizar proyecciones y apoyar la planificación de estrategias de gestión ambiental en la región.

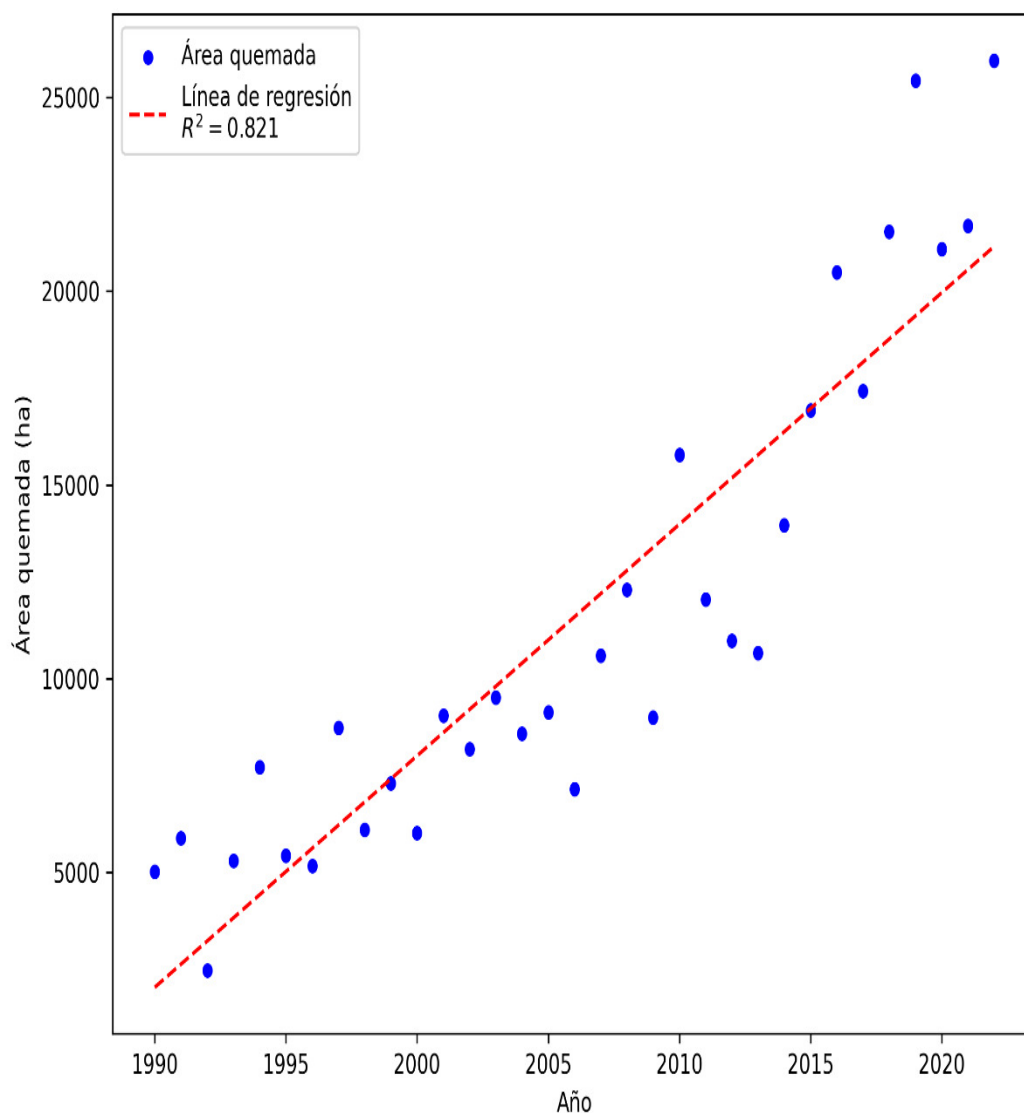


Figura 27. Tendencia de las Cicatrices de Áreas Quemadas en la Provincia de Tahuamanu: Análisis de Regresión Lineal (1990-2022). Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Resumen del Modelo de Regresión Lineal para las Áreas Quemadas en Tahuamanu (1990-2022)

Tabla 16. Resultados del modelo de regresión lineal. Fuente: Elaboración propia

R	R2	R2 ajustado	Error estándar	Durbin-Watson
0.906	0.821	0.815	2741.152	1.098

El modelo de regresión lineal construido para analizar la tendencia de las áreas quemadas en la provincia de Tahuamanu durante el periodo

1990-2022 muestra resultados sólidos. El coeficiente de correlación (R) es de 0.906, lo que indica una fuerte relación positiva entre el periodo y el área quemada. El coeficiente de determinación (R^2) es de 0.821, lo que sugiere que el 82.1% de la variabilidad en las áreas quemadas puede explicarse mediante el modelo propuesto. Este valor es reafirmado por el R^2 ajustado, que es de 0.815, lo que indica que el modelo es robusto incluso cuando se ajusta por el número de predictores en la ecuación.

El error estándar de la estimación es de 2,741.15 hectáreas, lo que proporciona una medida de la precisión del modelo al estimar las áreas quemadas. Si bien hay cierta dispersión en los datos, el error estándar es razonablemente bajo en comparación con los valores absolutos observados. Finalmente, el estadístico de Durbin-Watson tiene un valor de 1.098, lo que sugiere que no hay una autocorrelación significativa en los residuos del modelo, es decir, los errores no muestran un patrón secuencial que afecte la validez de las predicciones. Estos resultados demuestran que el modelo de regresión lineal ajustado es un buen predictor del comportamiento de las áreas quemadas en la provincia, proporcionando una base cuantitativa sólida para entender y proyectar este fenómeno en el tiempo.

4.3.3. Descomposición de la serie de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu (1990-2022)

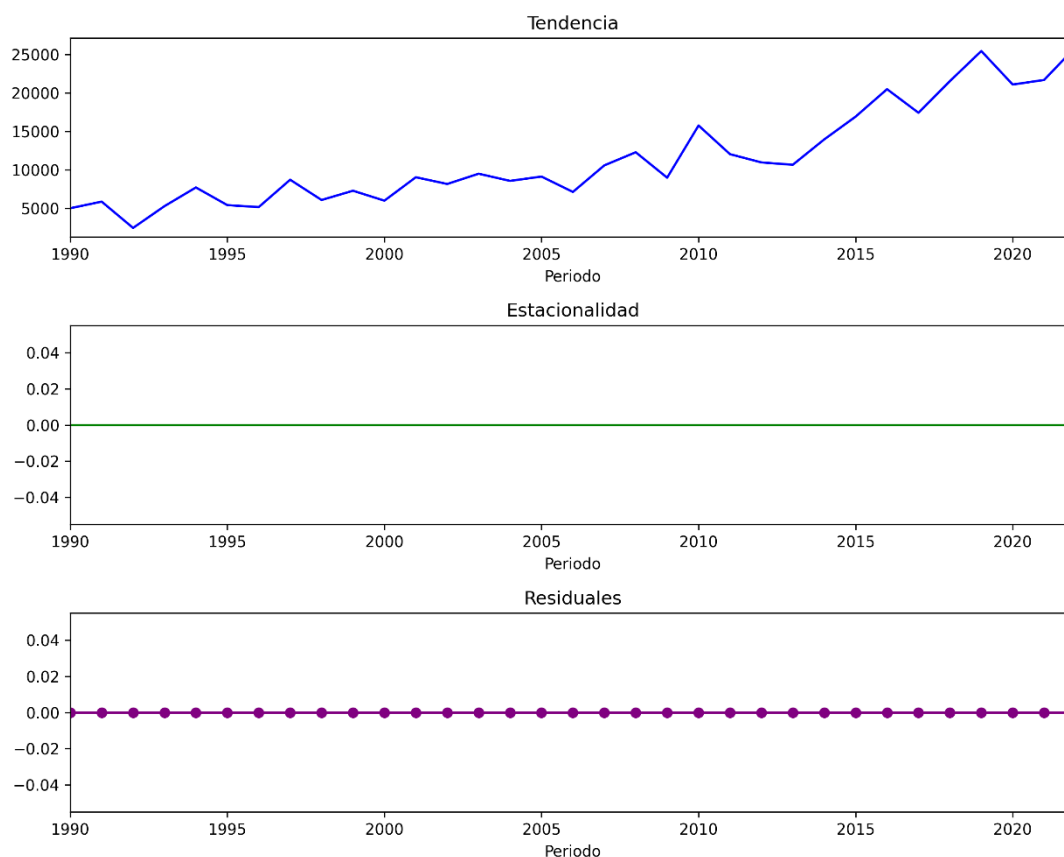


Figura 28. Descomposición de la serie de tiempo de las áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu 1990-2024. Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 28** muestra la descomposición de la serie de tiempo de las áreas quemadas en la provincia de Tahuamanu para el periodo 1990-2022. El análisis descompone la serie en tres componentes: tendencia, estacionalidad y residual. El componente de tendencia revela un incremento sostenido en las áreas quemadas a lo largo del tiempo. A partir del año 2010, la tendencia se vuelve más pronunciada, indicando un aumento acelerado en las hectáreas afectadas por incendios forestales en los últimos años. El gráfico correspondiente a la

estacionalidad muestra un comportamiento plano, lo que indica que no existe un patrón estacional recurrente en las áreas quemadas durante el periodo analizado. Esto manifiesta que las variaciones observadas en las áreas afectadas por incendios no están vinculadas a ciclos estacionales. El componente residual refleja pequeñas fluctuaciones aleatorias en los datos, sin mostrar grandes desviaciones respecto a la tendencia. Esto indica que la mayor parte de la variabilidad está explicada por la tendencia general y no por factores externos significativos que afecten los datos de forma impredecible.

Para verificar si la serie de tiempo tiene estacionariedad, se evaluará mediante la prueba Dickey-Fuller, con el objetivo si dinámica de las quemas tienen características estadísticas constantes a lo largo del tiempo.

Tabla 17. Resultados de la prueba Dickey-Fuller. Fuente: Elaboración propia.

Estadístico	Valor
ADF	3.1822
p-value	1
Valor crítico (1%)	-3.7377
Valor crítico (5%)	-2.9922
Valor crítico (10%)	-2.6357

Los resultados de la prueba indican que el Estadístico ADF obtenido es 3.1822, para que el modelo se considere sea estacionario, el ADF debe ser menor a los valores críticos al 1%, 5% y 10%. Además, el p-value es 1.0000, lo que implica que no podemos rechazar la hipótesis nula de que la serie de tiempo no es estacionaria. Los valores de -3.737, -2.992, -2.635 representan umbrales para rechazar la hipótesis nula a distintos

niveles de confianza, si el ADF sea menor que alguno de estos valores, se puede afirmar que la serie de tiempo es estacionaria con cierto nivel de confianza. Esto sugiere que la serie de las áreas quemadas no presenta propiedades de estacionariedad, es decir, su media y varianza cambian a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES.

El estudio revela que los eventos de las quemas en la provincia del Tahuamanu están aumentando de manera significativa, ya que en 1990 se tenía 5,020.13 ha y en el 2022 una superficie de 25,957.60 ha, existiendo un incremento de 417.07%. Esto hace notar que las políticas en manejo de uso de suelo, educación ambiental, ZEE, etc., no está teniendo el impacto positivo como se había planificado, y que es necesario que los tomadores de decisiones replanteen sus estrategias de mitigación y/o conservación de los recursos.

El análisis de distribución espacial de las cicatrices de áreas quemadas en la provincia del Tahuamanu, mostró una relación significativa entre los eventos de las quemas y su entorno espacial (Index Moran = 0.388027, z-score = 5.611865, p-value = 0.000000) a través del tiempo, sugiriendo que las grandes superficies tienden estar agrupadas, además este estudio revela la presencia de conglomerados de Alto-Alto y Bajo-Bajo, así como también, de valores atípicos Alto-Bajo y Bajo Alto, que nos da a entender ubicaciones anómalos que son diferentes a las zonas circundantes, pudiendo ser necesario una investigación más profunda.

Finalmente, se evidencia que existe una relación significativa (Kruskal-Wallis: 24.2295, p-value: 0.0001) entre al menos algunos de los grupos comparados (eventos de las quemas y los ecosistemas presentes en la provincia del Tahuamanu), además el comparativo post-hoc Dwass-

Steel-Critchlow-Fligner, reveló que tres pares de los ecosistemas tienen una relación significativa, sugiriendo que existe una susceptibilidad al fuego, que puede estar relacionado a las condiciones de humedad, estructura, biomasa, y otros aspectos característicos de cada hábitat.

RECOMENDACIONES.

Este estudio es un solo punto de partida para la evaluación de las quemadas, se recomienda que se utilice otras variables y se realice correlaciones con otros estudios que ayuden aún más a determinar el comportamiento y la distribución espacial de estos eventos.

A mi juicio, es necesario que el Gobierno Regional y Central adopten acciones para tener actualizada las ubicaciones de las cicatrices de áreas quemadas históricas en todo el país, solo así, conociendo la magnitud de la evolución de estos eventos, se podrá crear políticas más viables para la mitigación, corrección y conservación de nuestros recursos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alencar, A., Arruda, V. L. S., da Silva, W. V., Conciani, D. E., Costa, D. P., Crusco, N., Duverger, S. G., Ferreira, N. C., Franca-Rocha, W., Hasenack, H., Martenexen, L. F. M., Piontekowski, V. J., Ribeiro, N. V., Rosa, E. R., Rosa, M. R., Dos Santos, S. M. B., Shimbo, J. Z., & Vélez-Martin, E. (2022). Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning. *Remote Sensing*, 14(11), 2510. <https://doi.org/10.3390/RS14112510/S1>
- Alves, T. L. B., Azevedo, P. V., & Farias, A. A. de. (2016). Comportamento da precipitação pluvial e sua relação como relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba (Rainfall Behavior Rain and Its Relationship with Relief in the Regions Cariri of Eastern and Western State of Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8(6), 1601–1614. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150090>
- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S., Kakooei, M., Moghimi, A., Mohammad, S., Alizadeh, S., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115. <https://doi.org/10.1111/J.1538-4632.1995.TB00338.X>
- Ariza-López, F., Rodríguez-Avi, J., & Alba-Fernández, V. (2018). Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus (Artículos)*, 21, 215–226. <https://doi.org/10.21138/GF.591>

- Benavides, N. (2021). *Análisis de la severidad del incendio forestal suscitado en la Granja Porcón, a través de imágenes Sentinel-2-periodo 2019-2021, Cajamarca* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91567>
- BOLFOR, Fredericksen, T. S., & Kennard, D. (1999). *Guía para la Realización de Quemadas Controladas* (Ramiro Duchén, Daniel Nash, Delicia Gutiérrez, & Todd S. Fredericksen, Eds.; 1a ed.). Editora El País.
https://biodiversitylinks.org/library/resources/rmp/library/content/Professional_or_Trade_Education_and_Training_Workforce_Development/guia-para-la-realizacion-de-quemas-controladas.pdf/@@download/file/Guia%20para%20la%20Realizacion%20de%20Quemas%20Controladas.pdf
- Campbell, J. B., & Wynne., R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing - FIFTH EDITION* (5a ed.). The Guilford Press.
https://istncrg.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/09/introduction_to_remote_sensing_www.gisman.ir_.pdf
- Castillo, J., Giacomo, A., & Marino, G. (2013). Quemadas Controladas en Pastizales - Una herramienta para el manejo de pastizales con fines productivos y conservacionistas. En C. Kunst (Ed.), *Motini Adrian* (1a ed.). Motini Adrian.
https://wwfar.awsassets.panda.org/downloads/kit_pampas__cartilla_quemas_controladas_en_pastizales.pdf
- Centro Nacional de Estimación, P. y R. del R. de D. (CENEPRED). (2020). *Escenario de Riesgo por Incendios Forestales*.
https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//10471_escenario-de-riesgo-por-incendios-forestales.pdf

- Certini, G. (2005). Effects of fire on properties of forest soils: A review. *Oecologia*, 143(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1007/S00442-004-1788-8>
- Chasco, C. (2003). Métodos gráficos del análisis exploratorio de datos espaciales. *dialnet.unirioja.es*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=857578>
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio* (1a. ed.) [Book]. Ariel.
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.
<https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Cohen, J., Spohn, H., Solomon, L., & Steinman, A. (1960). A COEFFICIENT OF AGREEMENT FOR NOMINAL SCALES 1. *Educational and Psychological Measurement*, XX(1), 1–10.
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bec5157122fe3b0f6958dfef1463a00072be174d>
- Cracknell, A. (2007). Introduction to remote sensing. En *CRC Press* (2a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13575>
- Cruz, M. (2018). Una aproximación para estimar la eficiencia del quemado usando productos satelitales. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 21, 119–143. <https://doi.org/10.21138/GF.562>
- Díaz, M. (2002). Geoestadística aplicada. En *esmg-mx.org*.
<https://www.esmg-mx.org/media/courses/geoestadistica/GeoEstadistica.pdf>
- DigitalGlobe. (2014). *WORLDVIEW-3 DATA SHEET*.
www.digitalglobe.com
- El Peruano. (2020). Aprueban la incorporación de veinticuatro ecosistemas identificados en el departamento de Madre de Dios a la “Lista Sectorial de Ecosistemas Frágiles”. En *Resolución de*

Dirección Ejecutiva N° D000133-2020-MIDAGRI-SERFOR-DE (pp. 12-13). Diario Oficial El Peruano.

<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1915071-1>

ESRI. (s/f). *Cómo funciona Autocorrelación espacial (I de Moran global)—ArcMap | Documentación*. Recuperado el 2 de octubre de 2024, de

<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>

Fernández, R. (2019). *Evaluación de la superficie desforestada por efectos de los incendios forestales durante el periodo 2011-2016 en el distrito las Piedras-Tambopata-Madre de Dios* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/515>

Finer, M., & Novoa, S. (2017, febrero 14). *Patrones y Drivers de Deforestación en la Amazonía Peruana. MAAP: Síntesis #2*. Monitoring of the Andean Amazon Project.

<https://www.maaproject.org/es/maap-sintesis2/>

Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD). (2021). *Diagnóstico de la situación de las brechas de infraestructura o accesos a servicios públicos del Gobierno Regional de Madre de Dios, periodo 2022-2024*.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1580491/DIAGNOSTICO%20DE%20SITUACION%20DE%20BRECHAS%202022-2024.pdf.pdf?v=1611346620>

Guevara, B. (2021). *Análisis de la deforestación ocasionada por incendios forestales en el periodo 2010-2020 en el distrito de Ccatcca, Quispicanchis, Cusco* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84172>

- Harms, K. (2002). ¿Cómo se miden los patrones de dispersión? En G. Gilbert & M. Mejía (Eds.), *MANUAL PARA LAS INVESTIGACIONES DE BIOLOGIA DE CAMPO* (2da Edición, pp. 70-74).
https://faculty.lsu.edu/kharms/files/gilbert_mejia_eds_1996.pdf
- Hidalgo, G. (2019). Uso del Índice de Moran y LISA para explicar el ausentismo electoral rural en Ecuador. *Revista Geográfica*, 160, 91-108.
<https://doi.org/https://doi.org/10.35424/regeo.160.2019.746>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2018). *Teledetección*.
<http://www.ign.es>
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., & Barsi, J. A. (2012). The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*, 122, 11-21.
<https://doi.org/10.1016/J.RSE.2011.08.026>
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651-666.
<https://doi.org/10.1016/J.PATREC.2009.09.011>
- John A. Richards. (2012). *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction* (5a ed.). Springer Berlin, Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-30062-2>
- Johnstone, J. F., Allen, C. D., Franklin, J. F., Frelich, L. E., Harvey, B. J., Higuera, P. E., Mack, M. C., Meentemeyer, R. K., Metz, M. R., Perry, G. L., Schoennagel, T., & Turner, M. G. (2016). Changing disturbance regimes, ecological memory, and forest resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(7), 369-378.
<https://doi.org/10.1002/FEE.1311>
- Khan Academy. (s/f). *Impactos humanos en los ecosistemas*. Recuperado el 14 de octubre de 2024, de
<https://es.khanacademy.org/science/hs-biology/x4c673362230887ef:interactions-in->

ecosystems/x4c673362230887ef:human-impacts-on-ecosystems/a/human-impacts-on-ecosystems

- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2015). *Geographic Information Science and Systems* (4a ed., Vol. 1). John Wiley & Sons Inc.
https://books.google.com/books/about/Geographic_Information_Science_and_Syste.html?hl=es&id=C_EwBgAAQBAJ
- Lucero, P., & Celemín, J. (2008). La calidad de vida de la población en la determinación de la calidad territorial. Un estudio de autocorrelación espacial aplicado a la ciudad de Mar del Plata. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la, 2008* · dialnet.unirioja.es.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2800373.pdf>
- Lutes, D. C., Keane, R. E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N. C., Sutherland, S., & Gangi, L. J. (2006). FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. En *United States Department of Agriculture*.
https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_series/rmrs/gtr/rmrs_gtr164.pdf
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., & Johnson, B. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- Mancilla, D. (2020). *Efectos del incendio forestal del año 2017 en la provisión de servicios ecosistémicos y la recuperación del paisaje. Caso microcuenca Estero Empedrado* [Tesis de Maestría, Universidad de Concepción].
<http://repositorio.udec.cl/handle/11594/5637>

- Manta, M., & León, H. (2004). Los incendios forestales del Perú: Grave problema por resolver. *Floresta*, 34(2), 179–189.
<https://doi.org/10.5380/rf.v34i2.2392>
- Marín, C. (2022). *Sistema de información geográfica y teledetección para analizar incendios forestales y sus consecuencias en el refugio de vida silvestre Laquipampa* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98981>
- Mccabe, M. F., Rodell, M., Alsdorf, D. E., Miralles, D. G., Uijlenhoet, R., Wagner, W., Lucieer, A., Houborg, R., Verhoest, N. E. C., Franz, T. E., Shi, J., Gao, H., & Wood, E. F. (2017). The future of Earth observation in hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7), 3879–3914. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3879-2017>
- Michalijos, M. (2018). *Estudio del riesgo de incendio forestal en un sector de la Comarca de la Sierra de la Ventana utilizando geotecnologías* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Sur].
<https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4472>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. En *Island Press*. Island Press.
<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote sensing of Environment*, 109(1), 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (s/f). *Geobosques*. Recuperado el 14 de octubre de 2024, de
<https://geobosques.minam.gob.pe/geobosque/view/descargas.php>

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Memoria Anual del Ministerio del Ambiente*. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/04/Memoria-Anual-2017-Ministerio-del-Ambiente.pdf>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú - Memoria Descriptiva* (NEGRAPATA S.A.C., Ed.; 1ra Edición). <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>
- Miranda, R. (2022). *Estimación de la gravedad de quemas a través de sensores de radar de apertura sintética (SAR) en el Distrito de Tahuamanu-Madre de Dios, periodo 2020* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/906>
- Municipalidad Provincial del Tahuamanu. (2024). *Plan de acción provincial de seguridad ciudadana de Tahuamanu 2024-2027*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5759991/5117021-papsc-tahuamanu-2024-2027_compressed-1.pdf
- Muñoz, M. (2019). *Diseño de una metodología para colocar puntos de referencia para la disminución de los tiempos de respuesta en la atención de incidentes reportados a una central* [Tesis de Maestría, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/47349>
- Mutanga, O., & Kumar, L. (2019). Google earth engine applications. *Remote sensing*, 11(5), 591. <https://doi.org/10.3390/rs11050591>
- Olaya, V. (2020). Sistemas de Información Geográfica. En *Creative Commons* (1a ed.). Creative Common. <https://pcsitna.navarra.es/archivo/Documents/Sistemas.de.Informacion.Geografica.pdf>
- Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application. *Geographical Analysis*,

27(4), 286–306. <https://doi.org/10.1111/J.1538-4632.1995.TB00912.X>

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). (2012). *ATLAS de las Concesiones Forestales Maderables*.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1016330/122-Al_instaurarse_el_sistema_de_concesiones_forestales-3-6-201320200716-31706-cq3hs7.pdf

Plana, E., Font, M., & Serra, M. (2016). *Los Incendios Forestales - Guía para Comunicadores y Periodistas* (1a ed.). Proyecto eFIRECOM.
https://efirecom.ctfc.cat/docs/efirecomperiodistes_es.pdf

Prada, F. (2006). El fuego: química y espectáculo. *Anales de Química de la RSEQ*, 2, 54–59.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2006399>

Ramón, M. (2022). Análisis de patrones de distribución espacial de los incendios forestales en la provincia de Imbabura - Ecuador, en el período de 2015 al 2018 [Tesis de Maestría, UNIGIS]. En *40832 by UNIGIS América Latina - Issuu*.
https://issuu.com/unigis_latina/docs/40832

Rosales, Y. (2019). *Estimación de áreas afectadas por incendios forestales y dispersión de aerosoles emitidos: Vol. Tesis* [Tesis de Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C.].
<https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/4953>

Santacruz, A. (2020). *Impacto del fuego en la defensa de las plantas: Rasgos funcionales y síntesis de metabolitos secundarios en especies leñosas del Chaco semiárido de Argentina* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata].
<https://doi.org/10.35537/10915/93714>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). (2017). *Manual Curso Bomberos Forestales*.

<https://sis.sernanp.gob.pe/biblioteca/descargarPublicacionAdjunto.action?strIdInterno=26489488994008592044394635115717459253>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2015). *Ley Forestal y de Fauna Silvestre N° 29763 y sus Reglamentos. Bosques Productivos para la Vida.*

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-sanmartin/archivos/public/docs/lffs-y-sus-reglamentos.pdf>

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR). (2018). *Plan de Prevención y Reducción de Riesgos de Incendios Forestales.*

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1267623/plan-incendios-forestales.pdf?v=1598561349>

Siabato, W., & Guzmán-Manrique, J. (2019). La autocorrelación espacial y el desarrollo de la geografía cuantitativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 1-22.

<https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.76919>

Solórzano, J., & Perilla, G. (2022). Cómo usar Google Earth Engine y no Fallar en el Intento (2022). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.*

<https://doi.org/10.22201/CIGA.9786073066969E.2022>

Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L. J., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170.

<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>

Telgian. (s/f). *¿Qué es la dinámica del fuego?* Recuperado el 17 de octubre de 2024, de <https://www.telgian.com/es/fire-dynamics/>

Trumbore, S., Brando, P., & Hartmann, H. (2015). Forest health and global change. *Science*, 349(6250), 814-818.

<https://doi.org/10.1126/science.aac6759>

Villers, M. (2006). Incendios Forestales. *Ciencias*, 81, 60–66.

<https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/81/05/incendios%20forestales.pdf>

Wildlife Conservation Society (WCS). (2020). *Los bosques inundables de la Amazonía*.

https://peru.wcs.org/Portals/94/PDF/Infografia_BosquesInundables.pdf

Woodcock, C., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W., Gao, F., Goward, S., Helder, D., Helmer, E., Nemani, R., Oreopoulos, L., Schott, J., Thenkabail, P., Vermote, R., Vogelmann, J., Wulder, M., & Wynne, R. (2008). Free access to Landsat imagery. *Science*, 320, 1011.

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1a48c379399a4de285c45f1a0075250be6fd353d>

ANEXOS

Puntos de Evaluación de la Precisión y Exactitud Para el Periodo 1992

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
1	440973	8757402
2	473760	8712239
3	476951	8686133
4	471723	8715964
5	485099	8687637
6	450277	8743238
7	491304	8684876
8	439246	8782153
9	433232	8748186
10	437144	8789088
11	449808	8739640
12	495129	8686475
13	435939	8786225
14	432699	8748381
15	471823	8711051
16	475495	8710125
17	484276	8688430
18	441225	8763138
19	480473	8697216
20	408970	8791293
21	444577	8746334
22	437353	8759462
23	480197	8704996
24	421692	8786564
25	489028	8684625
26	449921	8736764
27	498156	8685310
28	468183	8724585
29	479749	8695936
30	481030	8704439
31	447886	8741853
32	442264	8747149
33	489522	8686403
34	444472	8735441
35	450252	8739122
36	488009	8690243

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
37	440983	8760616
38	498132	8685966
39	479652	8698399
40	449205	8739085
41	480321	8694040
42	442678	8751108
43	444973	8753687
44	440209	8769762
45	446711	8737401
46	498529	8685598
47	487334	8681047
48	455999	8738107
49	486043	8689118
50	435614	8786554
51	489428	8696114
52	475233	8693678
53	492228	8686035
54	449872	8739643
55	487735	8691660
56	445648	8733555
57	440718	8760328
58	436836	8789449
59	437601	8778867
60	449750	8746185
61	440482	8752316
62	480031	8698864
63	447369	8745824
64	452905	8739554
65	480251	8697278
66	435912	8784825
67	452107	8737356
68	444395	8744542
69	437814	8780873
70	434418	8783019
71	437547	8785616
72	451006	8738098

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
73	484715	8687469
74	471719	8685566
75	442781	8740692
76	439074	8783161
77	458699	8737138
78	428974	8789004
79	264057	8775165
80	465110	8709922
81	272319	8793373
82	408946	8759017
83	440515	8774369
84	305365	8817689
85	309348	8808405
86	366281	8753433
87	276933	8828404
88	292899	8792680
89	387524	8715524
90	410270	8715675
91	306965	8753406
92	356151	8772720
93	243178	8789220
94	451918	8752722
95	296785	8864366
96	420978	8758689
97	379205	8743532
98	420418	8734296
99	434799	8756174
100	233740	8785036
101	397746	8739905
102	285353	8854551
103	363067	8744885
104	418348	8728141
105	170007	8778514
106	361426	8739411
107	339439	8746630
108	456096	8729863
109	292014	8848380
110	396174	8746091
111	272150	8784006
112	321618	8763835
113	422918	8701834
114	424303	8735422
115	260287	8782454

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
116	409620	8711591
117	260800	8779937
118	258865	8823076
119	326235	8752395
120	249208	8768376
121	408269	8791181
122	420326	8735508
123	414088	8712809
124	352416	8748275
125	352314	8749829
126	325265	8782627
127	213688	8774866
128	320619	8839063
129	239151	8774277
130	274518	8823690
131	278996	8766305
132	300819	8853679
133	447538	8769167
134	420416	8784343
135	401237	8741554
136	327852	8746634
137	313596	8764557
138	438313	8725097
139	430921	8702822
140	449637	8687653
141	384097	8768480
142	280817	8830375
143	450189	8708894
144	322533	8836733
145	391933	8711424
146	318889	8761651
147	255121	8803233
148	310401	8744671
149	459343	8735946
150	474945	8707541
151	425336	8773969
152	466622	8735485
153	296201	8854328
154	314452	8749595
155	323247	8863233
156	430184	8784511
157	312488	8780793
158	294127	8822993

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
159	288438	8806573
160	462018	8737446
161	259360	8765032
162	315418	8834128
163	454436	8693118
164	289966	8817962
165	380075	8726258
166	308569	8864732
167	439397	8724137
168	361366	8756670
169	289138	8848702
170	451001	8749014
171	253867	8776968
172	466174	8686941
173	263394	8808007
174	439585	8750051
175	405047	8725051
176	400477	8735319
177	322829	8802101
178	444633	8693296
179	497553	8687898
180	419445	8701190
181	389226	8781591
182	366358	8741331
183	393453	8742663
184	413612	8748430
185	258977	8760663
186	455671	8718624
187	428417	8756275
188	422003	8701112
189	272057	8793732
190	427546	8741297
191	316401	8768967
192	286629	8781058
193	411789	8733245
194	411638	8717427
195	298767	8770000
196	307849	8866090
197	316992	8861983
198	266297	8790343
199	399529	8723661
200	296715	8810929
201	405230	8712681

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
202	408012	8764816
203	280938	8758317
204	269074	8757931
205	405079	8743778
206	386627	8747253
207	277493	8771690
208	254746	8790251
209	407805	8787710
210	410932	8726326
211	375129	8754491
212	339840	8748637
213	342990	8745537
214	264259	8833666
215	253798	8791796
216	265591	8774173
217	312685	8811801
218	497806	8691486
219	379587	8768223
220	373213	8763871
221	296443	8757346
222	276867	8805865
223	308246	8818210
224	461391	8749507
225	395321	8755744
226	419051	8777220
227	417532	8766931
228	353541	8755890
229	303242	8812206
230	373066	8751238
231	484409	8698920
232	309516	8842894
233	401819	8730867
234	302982	8817088
235	255434	8773970
236	444935	8768794
237	305578	8852679
238	458178	8693998
239	307967	8837208
240	353519	8734783
241	285647	8756031
242	385812	8720461
243	301384	8752974
244	287097	8838152

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
245	282057	8780012
246	353076	8770465
247	254918	8799874
248	309466	8754509
249	400651	8753385
250	419872	8736706
251	306380	8855888
252	304575	8802413
253	340336	8781186
254	306430	8822329
255	390433	8736538
256	471540	8693432
257	291483	8823647
258	455985	8737734
259	314957	8855163
260	397420	8746270
261	308000	8865803
262	446562	8695211
263	462546	8687168
264	338633	8751008
265	246407	8773139
266	367790	8752060
267	287652	8835348
268	256405	8767497
269	259807	8806491
270	301640	8789003
271	243026	8775643
272	320000	8855976
273	378539	8710705
274	420993	8753165
275	411421	8739343
276	284997	8821161
277	268727	8828140
278	305241	8786677
279	374219	8723485
280	417070	8701195
281	397922	8751424
282	417810	8722524
283	273721	8795163
284	381750	8781708
285	303517	8750245
286	274466	8824357
287	398886	8764136

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
288	229119	8783247
289	432123	8764640
290	318587	8762380
291	453040	8695130
292	477685	8694018
293	449705	8765524
294	278445	8823231
295	292844	8827743
296	405799	8761437
297	427131	8738502
298	336714	8776621
299	488996	8693391
300	344991	8776574
301	309042	8800414
302	243654	8772109
303	252022	8767971
304	409846	8700512
305	286121	8764812
306	473749	8712019
307	380347	8726254
308	250910	8765909
309	423467	8759267
310	436818	8717067
311	303304	8774739
312	440122	8736249
313	434166	8756222
314	382678	8752387
315	303704	8766358
316	401897	8711304
317	454380	8701842
318	295214	8758500
319	242442	8787858
320	318328	8860111
321	374839	8755682
322	430401	8774768
323	334606	8768226
324	211138	8784749
325	438254	8783617
326	430541	8778979
327	305342	8776115
328	268684	8798164
329	361866	8757245
330	275858	8791576

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
331	435769	8711206
332	373095	8754432
333	345551	8747128
334	310071	8841982
335	414238	8778774
336	258256	8812997
337	294430	8787537
338	469018	8686059
339	271292	8759691
340	380160	8720895
341	456809	8692176
342	351146	8756985
343	297758	8799831
344	470655	8727249
345	254277	8803053
346	411642	8753727
347	433290	8705244
348	294966	8799187
349	283532	8766563
350	308842	8804058
351	386814	8730217
352	316783	8812517
353	411621	8729430
354	294550	8803752
355	480476	8695986
356	387157	8729438
357	306946	8810238
358	284952	8856247
359	381089	8733473
360	276744	8797296
361	468621	8721716

PERIODO 1992		
N	ESTE	NORTE
362	490483	8690641
363	393729	8723126
364	435726	8781406
365	399895	8722641
366	233637	8783811
367	417204	8749374
368	321609	8849270
369	320313	8813748
370	342948	8761610
371	405715	8747529
372	248362	8767728
373	245247	8788775
374	370294	8733424
375	282315	8759575
376	285917	8825080
377	299575	8830855
378	218881	8779415
379	378275	8782999
380	393696	8734386
381	288562	8812549
382	251017	8771963
383	305753	8751776
384	401537	8776637

Puntos de Evaluación de la Precisión y Exactitud Para el Periodo 2012

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
1	485251.4	8687983
2	439176.1	8763257
3	468640.9	8719944
4	502391.1	8683744
5	431183.8	8748467
6	468396.1	8734425

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
7	472058.2	8705855
8	443652.3	8747348
9	448631.1	8738514
10	447770.4	8748525
11	488890.6	8683875
12	442105.3	8755729

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
13	437035.9	8759705
14	498675	8684849
15	445156.4	8745546
16	423115.4	8743489
17	467227	8734921
18	433802.6	8776658
19	444621.5	8749242
20	472953.4	8707721
21	471608.9	8716487
22	433213.7	8748071
23	442098.6	8755292
24	430607.5	8748810
25	496139.9	8686591
26	489053.6	8689578
27	440791	8747942
28	478539.8	8703230
29	453406.8	8739941
30	432991.1	8781629
31	428497.1	8786304
32	439506.8	8781850
33	434945.3	8782587
34	486624.9	8683254
35	434357.7	8746488
36	451677.4	8738130
37	445361.2	8739365
38	481959.2	8693068
39	487300.2	8691005
40	434093.1	8749437
41	454562.5	8738994
42	436021	8774814
43	491664.3	8702884
44	481566.4	8703483
45	481743	8701454
46	437742	8746721
47	472452.6	8714445
48	486313.2	8684181
49	452955.5	8741067
50	473590.4	8712090
51	439891.8	8779037
52	497671.6	8686924
53	486749.2	8683434
54	442508.2	8754368
55	448399.3	8731229

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
56	468650.3	8719826
57	452279.9	8744562
58	462923.6	8735976
59	475231.9	8693918
60	498896.2	8686845
61	435973.5	8761984
62	475721.6	8693168
63	477848.6	8706973
64	444229.6	8736082
65	452791.1	8741091
66	436682.5	8785715
67	439382.4	8778877
68	496235.7	8684178
69	473543.7	8712030
70	444194.7	8736148
71	451395.5	8746534
72	466703.3	8734320
73	440533	8779897
74	431117	8784950
75	442881.3	8745850
76	441897.1	8742591
77	428165.5	8740292
78	300167.3	8852532
79	442949.6	8713614
80	313242	8760384
81	283351	8760205
82	419359.5	8720368
83	407291.3	8752799
84	313725	8767802
85	322321.1	8806693
86	295162.1	8863430
87	308347.5	8853969
88	429505.5	8752638
89	406383.9	8787902
90	448399.2	8744077
91	366496.1	8752543
92	380373.9	8717025
93	303106.5	8856106
94	326536.8	8780082
95	252357.7	8767798
96	333942.4	8780325
97	302584.2	8790783
98	437121.9	8754455

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
99	311290.7	8828531
100	332564.8	8755102
101	318168.4	8865437
102	413488.9	8696377
103	300268.4	8810018
104	301004	8787877
105	436672.5	8771192
106	289935.3	8756245
107	295810.1	8829140
108	379618.1	8769539
109	419872	8763830
110	446501.9	8706553
111	457108	8742837
112	287615.5	8759507
113	306084.8	8824043
114	262578.7	8793160
115	320613.8	8844738
116	295424.2	8830313
117	255558.3	8789475
118	439118.3	8726176
119	253292.2	8777627
120	458820.7	8697929
121	323723.8	8765843
122	307915.3	8826011
123	320568.2	8896902
124	350837	8739585
125	315891	8810818
126	409234.1	8703531
127	385157.3	8752909
128	369538.5	8756858
129	446544.7	8773650
130	308692.4	8840338
131	428029.2	8786234
132	343910.8	8759245
133	426368.5	8705182
134	304840.9	8848691
135	425169.5	8724630
136	306861.4	8787019
137	420073.4	8773853
138	349964.8	8752340
139	259917.2	8774418
140	369061.7	8744792
141	409487.6	8767425

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
142	400239	8756695
143	188097.2	8777968
144	375984.2	8736289
145	429142.6	8729491
146	302513.9	8764580
147	438381.6	8763050
148	292857.8	8855715
149	404483.2	8791206
150	397420.6	8716643
151	308843	8783198
152	285847.2	8814003
153	429134.6	8746477
154	298258.6	8855154
155	321923.6	8752194
156	371287.9	8729934
157	356541.6	8749793
158	270162	8815503
159	303794.2	8801808
160	461072.3	8736897
161	288125.7	8826885
162	447875.7	8721556
163	400969.5	8785645
164	315087.7	8750320
165	463549.5	8694547
166	383071.3	8735910
167	317379.2	8770940
168	408626.3	8704685
169	285021.4	8814124
170	335218.4	8751264
171	466017	8704761
172	242586.5	8777186
173	310551.6	8799608
174	316519.4	8763258
175	312487.8	8748496
176	391382	8731087
177	304079	8805752
178	387048.3	8748029
179	284148.4	8773825
180	472179.7	8727395
181	449370.1	8761645
182	398195.7	8790706
183	437764.1	8773233
184	354230.2	8762691

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
185	396495.9	8705076
186	303178.8	8800408
187	424555.2	8779471
188	305559.8	8802649
189	355471.2	8752234
190	332702.9	8789731
191	275286	8791062
192	296502.2	8837714
193	425926.3	8699613
194	430099.4	8780050
195	449595.7	8724622
196	416868.7	8767196
197	342429.3	8775560
198	364904.6	8735791
199	358098.9	8740074
200	281749.6	8798901
201	434852.8	8733521
202	340590.1	8744294
203	433423.5	8715494
204	300814.1	8773346
205	413249.3	8723588
206	273280.3	8761764
207	452247.6	8712062
208	265475.5	8807637
209	292474	8772894
210	388599.4	8720863
211	437272.3	8714161
212	256199.5	8773068
213	440181.5	8704140
214	482917.5	8696674
215	346904.3	8741650
216	272901.6	8758264
217	462671.1	8696208
218	305941.6	8781212
219	257782.8	8791604
220	269948.4	8831184
221	445777.7	8754727
222	302245.9	8802041
223	340418.1	8749903
224	411165.6	8791413
225	458018.5	8687560
226	237974.6	8787833
227	243704.5	8770437

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
228	408299.6	8720358
229	462074	8687297
230	311587.6	8755190
231	411624.3	8729323
232	274087.9	8779154
233	386958.2	8773674
234	500291.9	8687490
235	210707	8775313
236	425030	8786466
237	305564.1	8804793
238	307851.1	8750133
239	273957.4	8827263
240	260967.1	8808072
241	256128.5	8790922
242	323551.8	8780831
243	432184.9	8706933
244	398088.7	8755942
245	433803.9	8768591
246	290828.8	8849594
247	304738.9	8809540
248	444149.3	8758676
249	432812.9	8761836
250	311902.5	8789072
251	234259.7	8772446
252	263976.6	8820240
253	302675	8809289
254	330715.9	8774919
255	423807.2	8777727
256	317359.2	8876462
257	399328.6	8727452
258	429424.2	8769779
259	383349	8781286
260	279690.8	8828100
261	405192.9	8780063
262	321013.1	8781579
263	432922.8	8739161
264	280885.9	8829442
265	454113.1	8695103
266	331140.4	8773454
267	440362.7	8735554
268	456194	8709876
269	443570.1	8708548
270	272214.7	8820626

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
271	282073.5	8787826
272	431494.1	8707042
273	306246	8831682
274	423162.4	8740010
275	279162.7	8817894
276	454947.9	8698918
277	284948.2	8779348
278	447189.2	8753445
279	423361.5	8766859
280	438874.5	8724913
281	275179.3	8827787
282	266457.1	8816663
283	290953.4	8853861
284	473384.1	8689243
285	210743.3	8782306
286	299381.6	8780044
287	331355.8	8780971
288	331296.4	8754264
289	268309.1	8800855
290	340706.8	8777349
291	341011.2	8769534
292	418645.3	8742360
293	319587.3	8868767
294	413358.8	8786992
295	449155	8688355
296	289472.8	8856216
297	251993.1	8769847
298	231593.3	8778533
299	372098.1	8778844
300	202501.3	8777561
301	265641.4	8800623
302	313161.7	8773551
303	475640.9	8697930
304	243496.8	8785810
305	367037.2	8762229
306	265550.1	8770026
307	483888	8707349
308	453747	8697315
309	440848.1	8697351
310	290840.6	8793038
311	398375.3	8744322
312	386350.8	8739449
313	432254.2	8722383

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
314	381106.3	8772186
315	310194.6	8866472
316	429916.1	8720476
317	433987.9	8787831
318	404662.4	8776102
319	293585.4	8798051
320	360808.2	8738969
321	272087.5	8787456
322	363619.6	8778084
323	411629.9	8705156
324	377096.2	8744119
325	447925.6	8714665
326	493216.5	8691458
327	229906.6	8780683
328	254649.8	8804759
329	298523.8	8859976
330	402939	8788118
331	439775.6	8745538
332	251133.2	8776952
333	434569.8	8718141
334	309725.7	8848960
335	304924.5	8791498
336	468293	8720178
337	361021.3	8756515
338	357771.8	8758374
339	302402.8	8779636
340	302492.4	8772531
341	317960	8772304
342	464547.4	8695022
343	421642.9	8751955
344	456020.4	8753639
345	300908.7	8786300
346	431195	8719076
347	381684	8715004
348	287588.4	8827132
349	285934.3	8809156
350	462285.8	8722753
351	481085.8	8718647
352	381272	8752208
353	430905.3	8777193
354	280077.8	8805661
355	455885.3	8712388
356	293304.6	8792498

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
357	257414.3	8793914
358	248495.3	8789088
359	317943.4	8859721
360	386658.6	8758444
361	435587.6	8770184
362	297276.3	8847422
363	442152.4	8756213
364	444381.8	8735342
365	295864.5	8772435
366	308487.6	8866248
367	442157.6	8727695
368	441874.3	8694191
369	463622.9	8717103
370	283066.7	8758348
371	447034.7	8716728
372	375351.8	8751368
373	432376.7	8784732

PERIODO 2012		
N	ESTE	NORTE
374	299354.2	8805726
375	425248.3	8705876
376	379945.8	8713016
377	354582.2	8775694
378	295168.7	8858912
379	371441.8	8731813
380	273368.7	8816300
381	290903.2	8758187
382	469041.3	8721769
383	182067.8	8782091
384	406176.5	8733956

Puntos de Evaluación de la Precisión y Exactitud Para el Periodo 2022

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
1	272544.3	8800328
2	357853.6	8761317
3	241387.2	8771227
4	455037.7	8727662
5	412206.6	8790256
6	183612.4	8779621
7	305824.5	8769466
8	448959	8729687
9	273447	8765020
10	259798.9	8818587
11	346394.7	8751970
12	454448.8	8727236
13	449537.9	8706677
14	480681	8718012
15	428656.3	8732599
16	302587.7	8776314
17	335450.6	8776164
18	417552.6	8739176
19	172915.2	8779006
20	447830.7	8698045

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
21	338902.8	8781733
22	403743.3	8771322
23	267489.6	8791500
24	297732.9	8798682
25	429860.5	8726568
26	309531.6	8787452
27	276818.3	8811081
28	484316.6	8694812
29	481583.7	8716835
30	420412.4	8769285
31	236357.5	8771720
32	453566.7	8731933
33	349118.6	8747629
34	359215.7	8750422
35	462141	8692280
36	391742.7	8715773
37	300074.1	8777128
38	312395.4	8811405
39	487026.3	8704526
40	316604.5	8785137

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
41	306387.9	8812281
42	322528.9	8747984
43	470517.2	8703307
44	258389.4	8762350
45	279564.6	8832480
46	371371.1	8746364
47	276336.8	8794019
48	447262.2	8764556
49	380405.6	8769356
50	402267	8761001
51	448634	8761845
52	310650.6	8869223
53	319404.1	8842757
54	261948.8	8783138
55	458928.6	8734340
56	320082.6	8745176
57	348550.4	8770427
58	467807.8	8737228
59	383350.7	8730206
60	431109.4	8742201
61	276520.3	8835931
62	355592	8742289
63	304796.8	8821213
64	478514.7	8688902
65	288732	8768968
66	265795.6	8759334
67	427648.6	8754556
68	324986	8767499
69	494446.2	8692391
70	315148.8	8785017
71	339417.6	8761010
72	407794.5	8792056
73	242986.4	8776221
74	411194.5	8785723
75	322029.3	8873085
76	382853.7	8782412
77	382003.6	8748028
78	363886.9	8753115
79	385218.1	8709563
80	281899.4	8783504
81	429423.4	8701487
82	398377.3	8710904
83	282992.7	8756316

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
84	404848.3	8714900
85	262534.2	8779697
86	409142.2	8760367
87	352035.5	8742635
88	275933.9	8812324
89	418042.6	8714686
90	404171.7	8752194
91	411197.3	8773897
92	287280.4	8827726
93	399768.8	8786517
94	320171.6	8892929
95	316380.1	8802978
96	306365.8	8803616
97	306113.9	8775722
98	297030.4	8816132
99	364146.6	8730966
100	172430.6	8776883
101	372649.2	8773983
102	391653.3	8733473
103	435411.7	8712328
104	441285.4	8715315
105	423914	8758334
106	357718.1	8753970
107	257852.3	8790254
108	308044	8796101
109	290033.1	8812215
110	368376.3	8725176
111	266572.5	8773030
112	273751.5	8827051
113	278354	8755358
114	340654.5	8778807
115	393329.2	8708741
116	289792.5	8806556
117	326886.4	8744723
118	282191.6	8845341
119	494950.2	8688746
120	260398.2	8777752
121	359807.3	8757969
122	428824	8715281
123	390718	8767425
124	332043.2	8748330
125	447501.4	8690474
126	419813.1	8737931

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
127	394894.4	8749838
128	374092.3	8736422
129	436258.8	8761972
130	304865.9	8853939
131	412115.8	8773297
132	394333.2	8765057
133	434365.9	8731123
134	282749.1	8792489
135	248567.8	8795195
136	254493.8	8784070
137	302349.5	8776079
138	451684.7	8698200
139	449241	8721242
140	454158.3	8752501
141	280707.1	8779801
142	406678.9	8700004
143	319725.9	8768264
144	212043.4	8776697
145	423706.1	8770569
146	438235.1	8774084
147	259386.6	8817096
148	310995.9	8871901
149	487259.7	8688561
150	362477.8	8745531
151	422786.1	8786972
152	279447.2	8835860
153	409480.2	8720249
154	462693	8694436
155	469560.8	8719798
156	445545.6	8774077
157	258604.7	8818560
158	369306	8735843
159	273083.9	8793419
160	440654.9	8734277
161	383336.7	8723042
162	436690.8	8738381
163	293866.7	8756939
164	275339.8	8800717
165	292406.3	8804345
166	343370.2	8765525
167	314630.3	8771249
168	282464.6	8769144
169	295204.3	8823926

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
170	279766.4	8801994
171	299488	8781709
172	386792.3	8786245
173	321747.8	8833504
174	292206	8812583
175	209751.3	8780994
176	445865.1	8768183
177	359480.9	8768384
178	399916	8765219
179	407211.5	8783896
180	450399.7	8706493
181	278135.9	8791247
182	287706.8	8809069
183	407432	8769686
184	395887.2	8738141
185	322303.4	8844777
186	286386.8	8834738
187	282972.9	8758595
188	349073.5	8738304
189	326115.6	8745471
190	189616.3	8781593
191	424178.3	8749499
192	487804	8691710
193	465582.2	8705523
194	453983.1	8708956
195	390751.7	8764655
196	423682.2	8774374
197	313695	8867070
198	432421.6	8707799
199	315021.7	8784277
200	284110.4	8774606
201	259896.3	8812942
202	423466.9	8754657
203	279085.2	8802092
204	401278.9	8732944
205	299329.3	8750574
206	446229.7	8691215
207	246969.6	8779453
208	332834.1	8777268
209	466595	8692178
210	392563	8755035
211	485263.1	8688044
212	300381.8	8822748

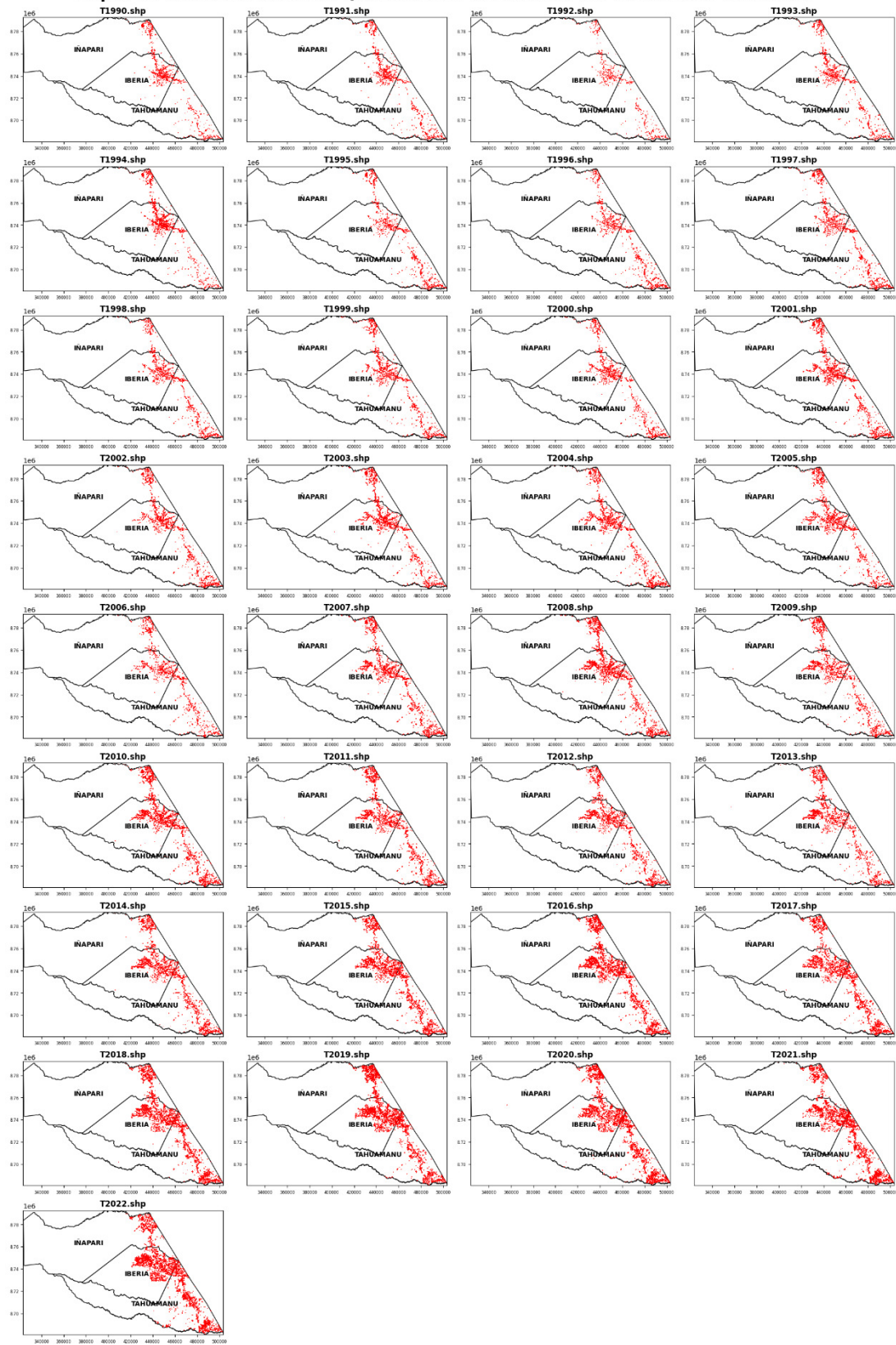
PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
213	411186.7	8743699
214	428146.1	8788903
215	328010.4	8772113
216	283636.8	8818036
217	364859.8	8772872
218	263892.4	8831423
219	286044.6	8788364
220	440007.4	8770522
221	353336.3	8746457
222	264643.8	8819785
223	389824.6	8711653
224	431288.2	8787034
225	428240	8784134
226	251529.7	8797044
227	430162	8745913
228	417622.3	8695709
229	443518.5	8692425
230	440093	8739313
231	475995.8	8691197
232	395181.7	8778657
233	451269.8	8747043
234	332392.3	8759282
235	412978.8	8722667
236	289440.1	8830896
237	284885.4	8841922
238	358794.8	8755380
239	251061.2	8772756
240	437781.8	8741381
241	419336.5	8726977
242	279985.2	8767489
243	438589.8	8731868
244	273846.7	8807624
245	315150	8777127
246	402895	8784980
247	457906.7	8739254
248	299325.2	8752290
249	309478.7	8855332
250	417168.7	8726262
251	295174.7	8861437
252	289479	8850972
253	368845.1	8764368
254	483682.3	8689232
255	497934.6	8690263

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
256	470762.7	8686466
257	294292.1	8854000
258	159664.2	8774018
259	340731.6	8752066
260	321883.4	8879866
261	428898.7	8747872
262	307634.9	8870411
263	335514.8	8768595
264	319980.3	8819390
265	309132.3	8803256
266	389882.6	8719666
267	256831.3	8771403
268	428690.6	8768131
269	257824.8	8811569
270	395408	8784859
271	312604.7	8875420
272	320886.5	8806294
273	276231.3	8839110
274	472031.6	8715835
275	297663.6	8854822
276	373984	8751101
277	413994.9	8739284
278	409809.4	8706692
279	316091.4	8755764
280	409891.2	8733163
281	442254.2	8769411
282	310173.8	8864301
283	430820.7	8771932
284	433276.3	8772278
285	432613	8773456
286	303388	8861924
287	423482.2	8753504
288	300771.9	8815025
289	409435.8	8774492
290	290430.3	8796416
291	414781.4	8787314
292	291681	8855918
293	289208.3	8775308
294	476525.1	8719715
295	265977.6	8767329
296	271018.3	8757033
297	320422.6	8895019
298	253819.9	8790493

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
299	417506.9	8703880
300	422386.2	8710922
301	467685	8736545
302	253069.5	8776455
303	301762.6	8862073
304	323016.8	8865048
305	243319.9	8787937
306	312502.5	8824903
307	310947	8822838
308	450222.1	8687589
309	434800.7	8743160
310	461484.8	8745058
311	440630.8	8775341
312	464742	8721105
313	436893.4	8748369
314	420939.3	8742243
315	470844.7	8712606
316	477919.9	8715172
317	443216.4	8778217
318	443688	8778911
319	424620.3	8749204
320	438705.6	8743567
321	432974.6	8751980
322	471216.5	8717978
323	433867.7	8776684
324	433042.6	8750611
325	437174.6	8748276
326	440598.1	8751258
327	439499.5	8772369
328	440661.4	8730706
329	433638	8788518
330	422172.3	8786375
331	430719.7	8777298
332	461327.8	8735205
333	464672.7	8739470
334	434816.7	8750122
335	444337.5	8753315
336	476580.3	8707893
337	430485.2	8753013
338	480023.5	8697039
339	438695.8	8762859
340	432816.4	8783511
341	477164.7	8709164

PERIODO 2022		
N	ESTE	NORTE
342	441150.6	8782086
343	431732.9	8774319
344	431278.4	8751470
345	437990.1	8785740
346	434113.6	8753025
347	438124.1	8743039
348	487854.7	8685875
349	488289.8	8692183
350	441904.3	8733538
351	420916.3	8786112
352	439200.7	8761729
353	453911.9	8728718
354	463214	8741509
355	461926.1	8740393
356	446433.6	8748745
357	439109.8	8743252
358	468101.1	8685131
359	437478.9	8764367
360	428494.6	8745568
361	438069.4	8736062
362	454403	8747582
363	450095.4	8739758
364	443794.5	8756235
365	431663.2	8752646
366	450517.9	8743342
367	444229.1	8692388
368	485832.8	8693462
369	457517.5	8736345
370	455132.1	8735388
371	451016.3	8737581
372	473100.7	8713626
373	451406.2	8733692
374	463261.9	8730632
375	466461.2	8730763
376	432073.4	8742676
377	468220.6	8717022
378	489060.2	8695655
379	436905.8	8784102
380	448669.2	8741473
381	463338.1	8743275
382	486085.3	8693504
383	481371.3	8688712
384	425279.3	8748013

Mapas de Cicatrices de Áreas Quemadas en la Provincia del Tahuamanu 1990-2022



Mapas de Cicatrices de Áreas Quemadas en la Provincia del Tahuamanu
1990-2022